環境技術実証モデル事業
山岳トイレ技術分野(山岳トイレし尿処理技術)

メーカー：第一公害プラント株式会社
技 術 名：生物(好気性)・土壌処理方式
実証機関：長　野　県
実証番号：030-0404

実 証 試 験 結 果 報 告 書

環境技術実証モデル事業　山岳トイレ技術分野　実証試験結果報告書について、平成１８年３月１日付けで承認しました。

本モデル事業は、普及が進んでいない先進的環境技術について、その環境保全効果等を第三者機関(実証機関)が客観的に実証する事業をモデル的に実施することにより、環境技術の普及を促進し、環境保全と環境産業の発展に資することを目的としたものです。

本報告書における技術実証の結果は、環境技術の性能を保証するものではなく、一定の条件下における環境技術の環境保全効果のデータを提供するものです。

平成１８年３月

環　境　省

平成１７年度
環境技術実証モデル事業
山岳トイレし尿処理技術分野
実証試験結果報告書

実証申請者：第一公害プラント株式会社

し尿処理方式：土壌処理

技術・製品の名称：生物(好気性)・土壌処理方式・

Ａｂｉｃ　ＦＢ型し尿処理装置（土壌処理方式）

平成１７年１１月

実証機関：長野県

目　次

1．趣旨と目的 …… 1

2．実証試験実施場所の概要
2-1　実施場所
2-2　実施場所の諸条件

3．実証対象技術および装置の概要 …… 4
3-1　実証対象技術の特徴と処理フロー
3-2　実証対象装置の仕様
3-3　実証対象装置の設置・建設方法
3-4　実証対象装置の運転・維持管理方法
3-5　実証対象装置の条件制御

4．実証試験方法 …… １２
4-1　実証試験実施体制
4-1-1　役割分担
4-1-2　実施体制
4-2　実証試験期間
4-3　実証試験項目及び方法
4-3-1　稼動条件・状況
4-3-2　維持管理性能
4-3-3　室内環境
4-3-4　周辺環境への影響
4-3-5　処理性能
4-3-6　トイレの維持管理

5．実証試験結果及び考察 …… ２３
5-1　稼動条件・状況
5-1-1　気温・降雨量
5-1-2　地温
5-1-3　利用者数
5-1-4　消費水量・電力量
5-1-5　消費燃料・資材等
5-1-6　ランニングコスト
5-1-7　まとめ
5-2　維持管理性能
5-2-1　日常維持管理
5-2-2　専門維持管理

5-2-3　開山・閉山対応
5-2-4　発生物の搬出及び処理・処分
5-2-5　トラブル対応
5-2-6　維持管理に係る信頼性
5-2-7　まとめ
5-3　室内環境
5-3-1　室温・湿度
5-3-2　許容範囲
5-3-3　まとめ
5-4　周辺環境への影響
5-4-1　土地改変状況
5-4-2　周辺土壌への影響
5-4-3　排気ガス
5-4-4　まとめ
5-5　処理性能
5-5-1　試料分析結果
5-5-2　まとめ
5-6　トイレの維持管理
5-7　試験結果の考察及びまとめ
5-7-1　ばっ気処理
5-7-2　土壌浸透処理
5-7-3　越冬に伴う汚濁成分等の変化

6．本装置導入に向けた留意点 …… ７１
6-1　設置条件に関する留意点
6-1-1　自然条件からの留意点
6-1-2　社会条件からの留意点
6-1-3　インフラ整備条件からの留意点
6-2　設計、運転・維持管理に関する留意点

7．課題と期待 …… ７３

参考文献

1. 趣旨と目的

長野県内において、山岳地域のし尿処理問題が社会的に関心を持たれるようになり始めてから既に四半世紀が経過している。この間、国、県、関係市町村、山小屋経営者等が、各種のし尿処理研究会等を開催し、山岳地域の水質調査、し尿処理方式の検討等を進めてきた[1)-18)]。その結果、一部の山小屋ではし尿処理施設が設置され、対策が講じられるようになった。しかし、多くの山小屋は現在でもし尿を未処理のまま小屋周辺に排出しており、高度な清浄度が要求される山岳環境を損ねている。

このような状況が長期にわたって放置されてきた大きな原因のひとつとして、適切な処理技術が確立されて来なかったことがあげられる。近年、各種のし尿処理方式が開発され始め、一部ではその普及も進んでいるが、処理機能等に関する詳細な情報が少ないのが実情である。そのため、処理施設の設置を考えている多くの山小屋経営者等は、その選択に苦慮している。

本報告にまとめられた調査は、環境省が平成15年度から開始した環境技術実証モデル事業の一環として実施されたもので、現在既に実用化段階にある先進的な山岳トイレし尿処理技術について、その環境保全効果等を客観的に実証し、情報公開することを目的としたものである。このことにより、処理装置の設置を考えている山小屋経営者等に対し詳細な情報が提供出来るようになり、山岳地域へのし尿処理装置の普及が促進されると考えられる。

長野県では、平成14年度に山小屋経営者、関係市町村、県、登山愛好家等を構成メンバーとする「信州山岳環境保全のあり方研究会」において、「おおむね10年以内で県内の山岳地におけるトイレから自然浸透をなくす」目標を定め、取り組みを実施中である[19)]。本報告は、この目標を実現するためのひとつのステップとしても有用な意義を持つと考えられる。

2. 実証試験実施場所の概要

2-1 実施場所

1）名称：横尾山荘

同山荘の全景を図１に示す。

2）所在地

①山域：中部山岳国立公園内上高地横尾

②住所：長野県松本市安曇上高地 4,470 番地（処理装置の設置場所は横尾山荘の北約 300m）

③ 標高：1,620m

3）設置主体：横尾山荘

2-2 実施場所の諸条件

１）気温

実証申請者が提出した申請書（以下、実証申請書と略記する）に添付されている上高地横尾の推定平均気温を表 1 に示す。なお表 1 の推定値は、松本気象台の気温を基に、実証試験地及び松本気象台の標高から(1)式により算出した。

標高補正値(℃)＝標高差(m)×0.55(℃/100m)・・・・・（1）

実証試験地の標高：1,620m、　松本気象台の標高：　610m

表１　松本市と上高地横尾の平均気温

単位：℃

		1999 年	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	平　均
松本気象台（観測値）	1 月	-0.2	1.6	-1.7	0.8	-1.6	-0.2
	2 月	0.2	-1.4	-0.2	1.0	0.3	0.0
	3 月	5.3	3.2	4.3	6.4	2.6	4.4
	4 月	10.6	9.9	11.0	12.7	11.7	11.2
	5 月	16.5	17.1	16.9	15.8	16.5	16.6
	6 月	20.1	20.0	20.3	19.5	20.2	20.0
	7 月	23.7	24.6	26.3	25.5	21.9	24.4
	8 月	25.5	25.4	24.7	25.2	24.0	25.0
	9 月	22.3	20.6	19.4	19.5	21.1	20.6
	10 月	14.0	14.2	13.0	13.6	12.2	13.4
	11 月	8.0	7.7	6.7	5.5	9.7	7.5
	12 月	2.4	2.6	1.4	1.4	2.6	2.1
	平均	12.4	12.1	11.8	12.2	11.8	12.1
上高地横尾（推定値）	1 月	-5.8	-4.0	-7.3	-4.8	-7.2	-5.8
	2 月	-5.4	-7.0	-5.8	-4.6	-5.3	-5.6
	3 月	-0.3	-2.4	-1.3	0.8	-3.0	-1.2
	4 月	5.0	4.3	5.4	7.1	6.1	5.6
	5 月	10.9	11.5	11.3	10.2	10.9	11.0
	6 月	14.5	14.4	14.7	13.9	14.6	14.5
	7 月	18.1	19.0	20.7	19.9	16.3	18.8
	8 月	19.9	19.8	19.1	19.6	18.4	19.4
	9 月	16.7	15.0	13.8	13.9	15.5	15.0
	10 月	8.4	8.6	7.4	8.0	6.6	7.8
	11 月	2.4	2.1	1.1	-0.1	4.1	2.0
	12 月	-3.2	-3.0	-4.2	-4.2	-3.0	-3.5
	平均	6.8	6.6	6.3	6.7	6.2	6.5

図１　横尾山荘全景

２）降水量

実証申請書より引用した上高地気象観測地点（標高 1,510m）の降水量経年変化を表 2 に示す。なお、表 2 の降水量は気象庁のホームページよりインタ-ネットを通じて収集したものである。

3）インフラ条件

①搬出入手段

2ｔ車程度が通行可能な登山道を有する。

② 電力

商用電力なし。ただし、ディーゼル発電機による自家発電設備を有する。

③ 水

沢筋のため、沢水あるいは伏流水等の利用が可能である。

4）利用条件

①開山期間

横尾山荘の営業期間は 4 月下旬～11 月上旬である。

②トイレ利用人数・利用形態

月別に計算したトイレの日平均利用人数（従業員数を含む）は、平常時（8 月

表２　上高地の平均降水量（㎜/月）

		1999 年	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	平　均
上高地気象観測地点	1 月	141.0		198.0	387.0	176.0	225.5
	2 月	155.0	176.0	104.0	67.0	91.0	118.6
	3 月	181.0	288.0	200.0	228.0	171.0	213.6
	4 月	176.0	153.0	70.0	212.0		152.8
	5 月	238.0	156.0	144.0	241.0		194.8
	6 月	548.0	149.0	512.0	112.0	271.0	318.4
	7 月	248.0	158.0	106.0	462.0	344.0	263.6
	8 月	216.0	80.0	150.0	52.0	417.0	183.0
	9 月	431.0	347.0	153.0	149.0	185.0	253.0
	10 月	231.0	251.0	227.0	254.0	110.0	214.6
	11 月	138.0	251.0	142.0	214.0	378.0	224.6
	12 月		116.0	134.0	153.0	196.0	149.8
	平均			178.3	210.9		209.3

以外）概ね 10～ 100 人/日、集中時（8 月）：150～160 人/日である。

なお、利用者は宿泊客および山小屋従業員が主体である。

③処理施設の供用開始日

平成 16 年 4 月 27 日

5）周辺施設の状況

実証試験地の隣接施設は、以下のとおりである。

①横尾避難小屋

②横尾幕営地

③環境省横尾公衆トイレ

④横尾山荘ＳＡＴ法し尿処理装置（既設）

3．実証対象技術および装置の概要

3-1　実証対象技術の特徴と処理フロー

1）技術の特徴

調査対象となった「Abic FB 型し尿処理装置」は、実証申請書によると希釈水が不要、負荷変動に強い、小型・軽量、ＢＯＤ除去率が 99%確保できる等の他、以下の技術を主な特徴としている。

①高活性な微生物の選択

し尿処理に係る好気性微生物の中で、*Bacillus* 属細菌はその活性が高いことで知られている。本実証試験においては、*Bacillus* 属の細菌を多く含む汚泥をシーディング剤として用いる。

②加温方式の開発

Bacillus 属細菌を用いた排水処理においては、その至適温度に近い 30℃前後に加温することにより、高い処理効率が期待できる。申請者が開発した「AbicFB 型」では、テフロンコーティングされた扁平コード状の自己温度制御発熱体によるコンパクトな加温方式を採用し、サーモスタッドによって温度の制御を行っている。

③発泡防止対策

無希釈し尿をばっ気すると、ばっ気開始１週間程度から激しい発泡が起こり、場合によっては、蓋から槽外へ溢流が発生する等、衛生ならびに景観の面から問題が生ずる。「AbicFB 型」では、消泡剤の自動定量添加により、発泡を抑制する。

２）処理装置の概要及び処理フロー

処理装置の外観及びばっ気処理槽内部の写真を図 2～3 に、また処理装置のフローを図 4 に示す。本装置は山荘の便槽から抜き取ったし尿に微生物製剤あるいは種汚泥を添加し、30℃に加温しながら 1 か月間ばっ気処理（ばっ気強度約 8㎥/(㎥・h）)した後、その処理水をトレンチを用いて土壌浸透処理する方式である。ばっ気槽（最大処理能力 3㎥）には 2 基のブロワ、ヒーター、消泡剤添加ポンプが付置されている。トレンチは長さ 13m のものが 3 本（以下、T1、T2、T3 と略記する）設置されているので、総延長は 39m である。ばっ気処理水のトレンチへの移送に当たっては、3 本のトレンチに均等に散水するため、中間に分水槽を設け自給式ラバー弁ポンプ等の移送ポンプを用いて行う。トレンチの一部には、図 5 に示す土壌浸透水採取装置（以下、検水井と略記する）を設置し、雨水と共に地中に浸透するばっ気処理水を採取しモニタリングできるようになっている。またばっ気槽からの排気は、トレンチを経由して排出されるため、土壌による脱臭効果が期待できる。なお、本トレンチは、隣接するほぼ同一の処理施設のために、1991 年に設置されたもので、2004 年には今回の実証対象施設から排出されるばっ気処理水とほぼ 2 週間おきに交互使用したが、2005 年における負荷は今回の実証対象施設からの排出水のみであった。

3－2　実証対象装置の仕様

1）設置条件及び主な仕様

実証申請者が提出した実証対象施設の設定条件及び主な仕様を、それぞれ表 3～4 に示す。

図２　処理装置の外観
中央に立つ角形の箱が制御板、その左下に地中に埋設されているのがばっ気槽である。

図３　ばっ気槽の内部

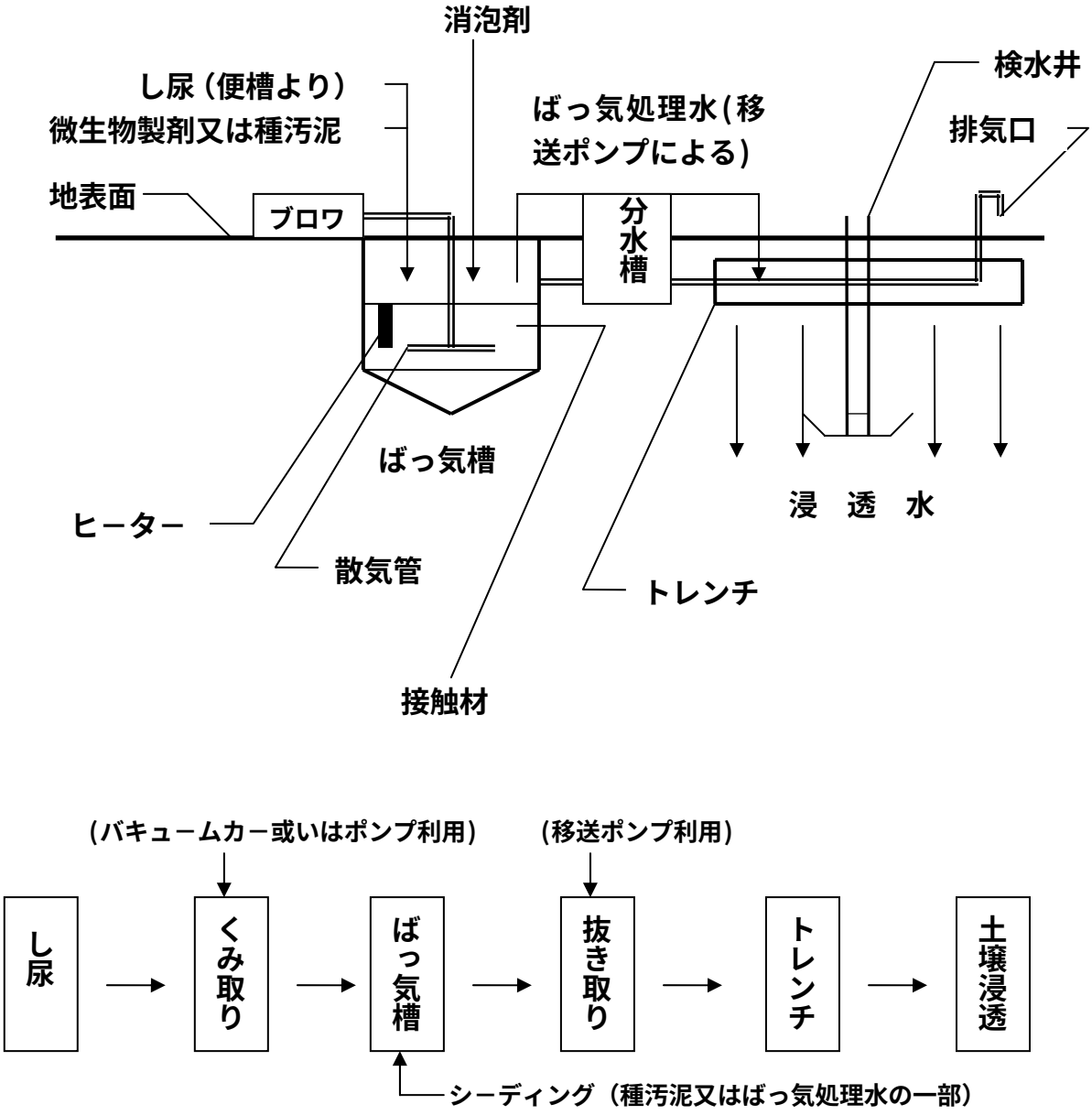


図４　処理装置及び処理フロ-の概要

２）単位装置の仕様

本装置は以下の単位装置から構成されている。実証申請書より引用した単位装置の仕様及び機能を表 5～6 に示す。

3）給水量

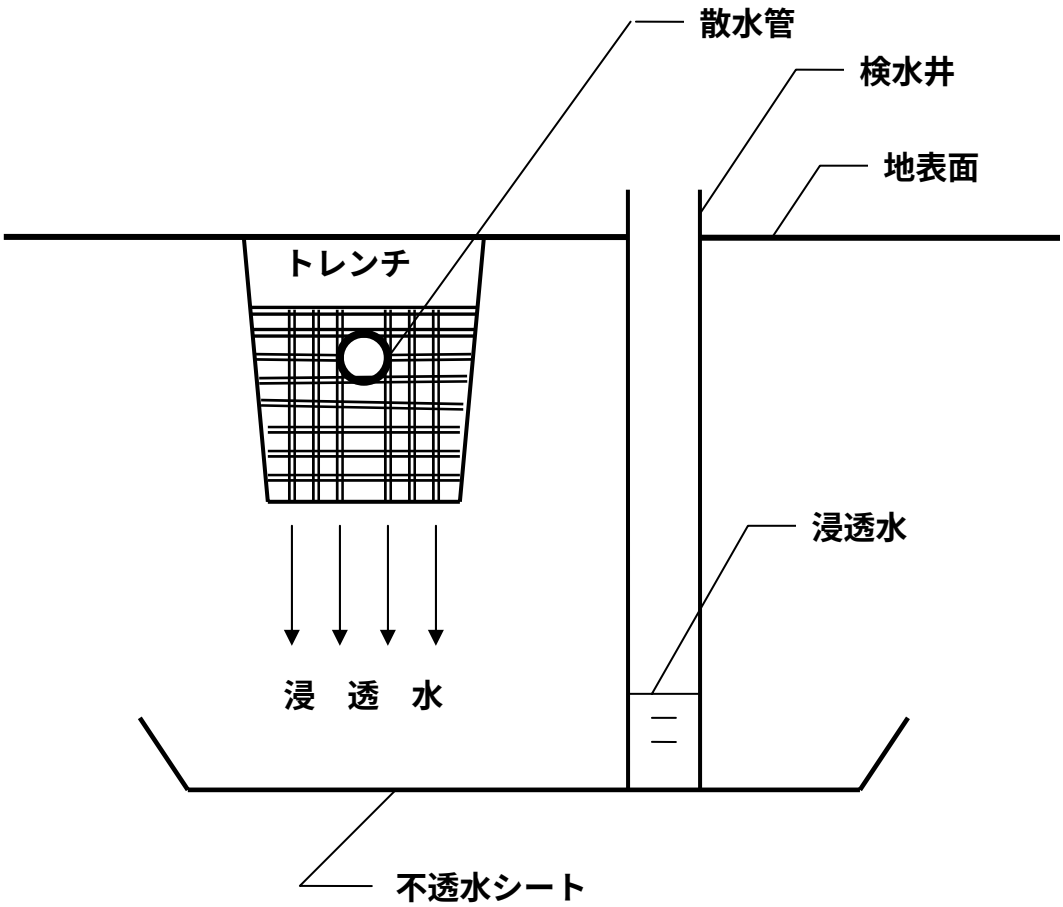


図 5　検水井の概略図

表 3　設定条件

設定項目	条件
トイレの利用条件	簡易水洗便所、洗浄水量；300mL/回（大便器）
し尿原単位	し尿排泄量 200mL/回･人
汲み取りし尿のＢＯＤ濃度	10,000mg/Ｌ
ばっ気槽容量	月し尿発生予測量と同等容量以上
ばっ気槽の運転条件	１か月単位のバッチ処理
ばっ気槽へのし尿移送	バキューム車（横尾山荘保有）による移送
加温条件	ばっ気槽内水温として、30±5℃
設置方法	ばっ気槽及びトレンチ：地下埋設
ブロワ及び消泡ポンプ等	地上設置

表4　処理装置の主な仕様

項目	概　要
装置名称	Abic　FB型し尿処理装置
し尿処理方式	生物処理+土壌処理
型番	Abic　FB－3000型
製造企業名	第一公害プラント株式会社
連絡先	担当者:牛尼修央
	TEL　0266－62－5100　　FAX　0266－62－4439
	E-mail　fujimi. br@abic－net. co. jp
価格(円)	2, 888, 000円(消費税を含む)
希釈水･洗浄水	不要
処理性能	ばっ気処理に伴うBOD除去率:95%以上 トレンチを用いた土壌浸透に伴うBOD除去率:99%
電気	必要(36. 4kWh/d)
道路	不要
使用燃料	燃料の種類(　軽　油　)、消費量(　242ﾘｯﾄﾙ･kg･Nm^3/月)
使用資材	資材の種類(　消泡剤　)、消費量(　5. 4ﾘｯﾄﾙ･kg･Nm^3/月)
温度	適正稼働が可能な気温(0℃以上)
装置タイプ	トイレと処理装置が隣接型
サイズ	ばっ気処理槽:φ1, 800mm×h1, 500mm トレンチ:w600mm×L13, 000mm×d500mm
重量	0. 6t　(ばっ気処理槽のみ)
処理能力	平常時　　333人回／日(　66. 6ﾘｯﾄﾙ／日) 利用集中時　　500人回／日(100. 0ﾘｯﾄﾙ／日) ※し尿単位を(　0. 2ﾘｯﾄﾙ／人･回と想定して算定)
最終処分方法	トレンチにより土壌浸透(ばっ気処理水の一部は、次回処理時の種汚泥として使用する)。
保証期間	本体3年、駆動部1年
償却期間	類似施設の実績から、本体･トレンチとも10年以上の耐久性を有するものと考えられる
ランニングコスト	27, 000円/月
納入実績	3ヶ所
その他 (特記事項)	燃料消費量は、発電機の定格出力にし尿処理装置への給電割合を乗じて求めた。 重量は、ばっ気槽のみの重量を記載した。

本装置は、基本的に希釈水は必要ないが、ばっ気処理水を移送ポンプによりトレンチへ移送した後、ホースの洗浄に1回/月 10～20L の洗浄水を要する。

4）凍結・夾雑物対策

①凍結対策

「Abic FB 型」に隣接する、既設し尿処理装置の越冬実績から、ばっ気槽及びトレンチに対する特別な凍結防止対策は不要と考えられるため、付置されていない。

表 5　単位装置の仕様

機器名称	仕様	稼働計画	電気容量
ブロワ No.1	20A×200L/min×0.02MPa	常時(24 時間/日)	250Wh
ブロワ No.2	20A×200L/min×0.02MPa	常時(24 時間/日)	250Wh
加温装置	自己温度制御発熱体	サーモ連動(最大24時間/日)	1,015Wh
消泡ポンプ	ダイヤフラム式電磁ポンプ	タイマー制御(6分/日)	16Wh
小　　計			1.531kWh
処理水移送ポンプ	自吸式ラバー弁ポンプ	ばっ気処理水のトレンチへの移送時	550Wh

表 6　単位装置の機能

名　　称		機　能　説　明
ばっ気槽	加温装置	主体となる *Bacillus* 属細菌を高活性に保つため、水温を調節する
	ブ ロ ワ 散気装置	汚濁物質の分解に必要な酸素を供給するとともに、撹拌流を発生させる
	消泡ポンプ	処理の過程で発生する泡を消し、ばっ気槽からの溢流を防止する
トレンチ	移送ポンプ	ばっ気処理水をトレンチへ移送する
	トレンチ空隙部	ばっ気処理水が浸透するまでの間、空隙部に保持する

②夾雑物対策

洋式簡易水洗便器の採用により、ゴミ等の投棄が極少で、特別な対策はほとんど不要であるが、ばっ気槽内に異物が混入した場合は別途除去する。

3-3 実証対象装置の設置・建設方法

1）ばっ気槽

低地にて成型加工後、普通車トラックにて現場に搬送し埋設した。

2）トレンチ

トレンチ内に埋設する散水管、接触材を普通車トラックにて現場に搬送後、トレンチを掘削し埋設した。

なお、ばっ気槽及びトレンチの埋設には、山荘所有のバックホーを使用した。

表7　実証対象施設の運転・処理工程及び各工程に必要な維持管理作業

工程	運転・処理工程	必要な維持管理
1	便槽からのし尿の抜き取り	バキュームカーによるし尿の抜き取り
2	ばっ気槽へのし尿の投入	バキュームカーによるし尿の投入
3	微生物製剤あるいは種汚泥の投入	微生物製剤又は種汚泥の投入あるいはばっ気処理水の一部をばっ気槽内に残留させる
4	ばっ気・加温開始 ばっ気強度：8㎥/(㎥/h) 水温：30℃ ばっ気期間：1か月	ばっ気槽及びヒーターへの通電
5	ばっ気処理水の抜き取り・ トレンチへの移送	自吸式ラバー弁ポンプ等によるばっ気処理水の移送

3-4　実証対象施設の運転・維持管理方法

実証対象施設の運転・処理工程及び各工程に必要な維持管理作業を表7に示す。表7からも明らかなとおり、当施設ではばっ気槽へのし尿の投入及びばっ気処理水のトレンチへの移送作業の他、ブロワオイル量や消泡剤吐出チェック等軽微な維持管理が必要であるが、その他は基本的に維持管理を必要としない。

3-5　実証対象施設の条件制御

1）トイレ利用者数

2004及び2005年における月別トイレ利用者数の経時変化を図6～7に示す。2004及び2005年とも集中時の利用者数が最も多く平均は150～160人/日であった。また平常時の利用者数の平均は50～70人/日であった。

2）ペーパー等の処理方法

用便後に使用したペーパーは、トイレブース内に設置されている回収箱に入れ、まとめて焼却処分する。

4．　実証試験方法

4-1　実証試験実施体制

4-1-1　役割分担

本実証試験を実施するに当たっての役割分担は、基本的に山岳トイレし尿処理技術実証試験要領（以下、要領と略記する）に準拠した。実証試験参加組織及び参加者の役割分担を以下に示す。

１）環境省

①実証する対象技術の承認をする。

②実証試験計画について、必要に応じて助言を行う。

③実証試験結果報告書を承認する。

④環境技術の普及に向けた環境技術データベースを構築し、実証試験結果を公表する。

２）実証機関

①環境省からの委託により、実証事業を管理・運営する。

②対象技術の選定結果について、全ての申請者に通知する。

③技術実証委員会を設置、運営する。

④実証試験要領に基づき、実証申請者との協議を行い、技術実証委員会で検討し、実証試験計画を作成する。

⑤実証試験要領及び実証試験計画に基づき、実証試験を実施する。そのための、各種法令申請や土地の確保等の手続きについての業務を行う。

⑥実証申請者の作成した「取扱説明書および維持管理要領書」に基づき、実証装置の維持管理を行う。

⑦必要に応じ実証試験の一部を外部機関に委託する。その際、外部機関の指導・監督を行う。

⑧実証試験のデータを分析・評価し、実証試験結果報告書を作成する。

⑨承認された実証試験結果報告書の内容をデータベース機関に登録する。

３）技術実証委員会

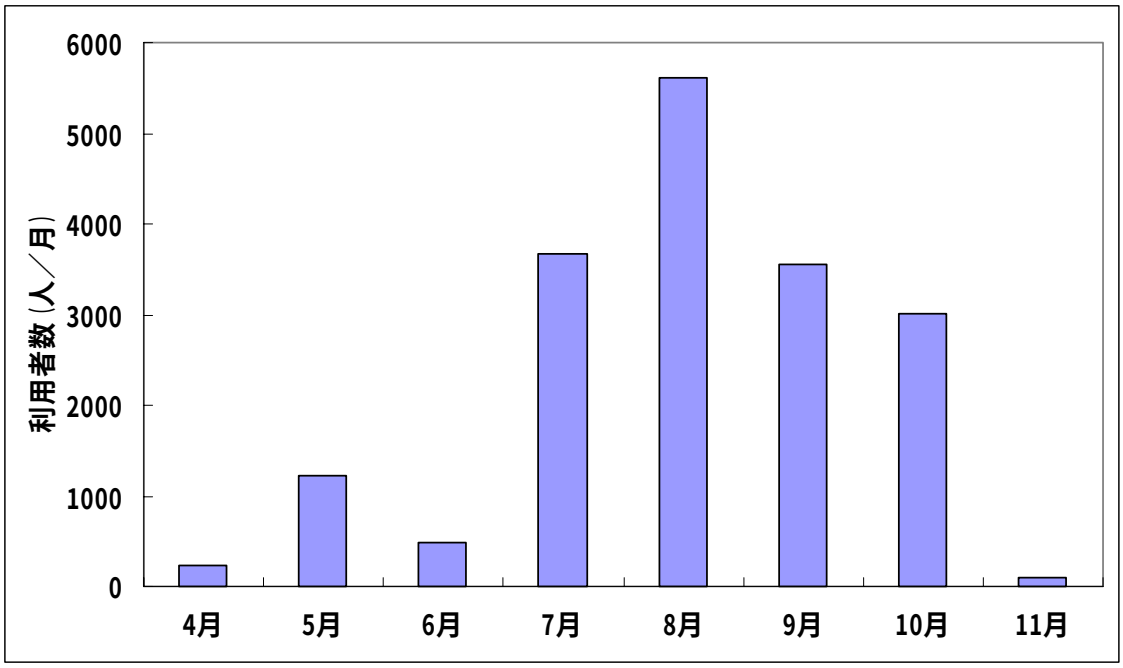


図6　月別利用者数の推移（2004年）

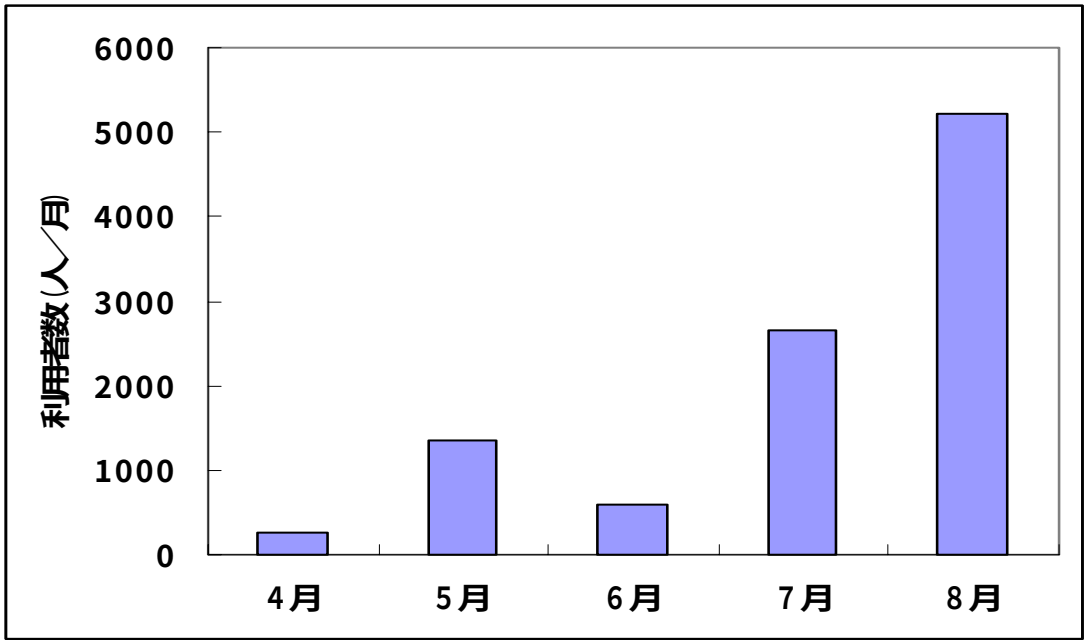


図7　月別利用者数の推移（2005年）

①実証機関により設置されるもので、有識者（学識経験者、ユーザー代表等）により構成される。
②対象技術の公募・選定について検討・助言を行う。
③実証機関が作成する実証試験計画について検討・助言を行う。
④実証試験の過程で発生した問題に対して、検討・助言を行う。
⑤実証試験結果報告書の作成にあたり、検討・助言を行う。

４）実証申請者

①既存の試験データがある場合は、実証機関に提出する。
②実証試験計画の策定にあたり、実証機関と協議して計画案を確認・承諾する。
③実証機関に対し、実証試験計画の内容について承諾した旨の文書を提出する。
④「専門管理者への維持管理要領書」、「日常管理者への取扱説明書」を実証機関に提出する。
⑤実証試験実施場所に実証装置を設置する。
⑥既に設置してある装置については、必要に応じて、実証試験に必要な付帯機器・装置を設置する。
⑦装置の全ての構成部分の読みやすい位置に、以下の内容を示したデータプレートを添付する。
・装置名称
・モデル・製造番号等
・実証申請者の社名と住所・担当者名、緊急連絡先
・電源電圧、相数、電流、周波数
・搬送・取り扱い時の注意事項
・認識しやすく、読みやすい注意書きまたは警告文
・処理能力等
⑧実証試験計画に基づき、または実証機関の了承を得て、実証試験中に装置の操作や測定における補助を行う。
⑨機器の操作、維持管理を行う技術者を提供する。技術者は適切な資格を有し、または必要な訓練を受けていることとする。
⑩運転トラブルが発生した際は、実証機関の承認を得て、できれば立ち会いの上で、迅速に対処するとともに、対処状況を実証機関に報告する。
⑪トラブルを発見した際は、速やかに実証機関に報告する。
⑫実証試験結果報告書の作成において、実証機関の求めに応じて協力し、報告案を確認する。

５）日常的な運転・維持管理者

実証試験期間中、適正に運転・維持管理するための清掃や操作は、実証申請者が作成する「取扱説明書」をもとに実証機関が、山小屋に把握すべき稼動条件・状況や維持管理性能に関する調査を委託する。

その場合、実証データの信頼性・中立性を保持するために、受託者はトラブル等の異常時を除いて、実証申請者に連絡を取る場合はすべて実証機関を介することとする。

実証機関は、異常が発生した際には速やかに実証申請者に連絡をとり、実証申請者の示した定常運転状態に復帰させるように対処する。不測の事態の際には、実証機関は実証申請者とともに対応する。

異常時中の試料採取結果は、実証試験結果報告書に掲載する分析有効数値としては用いないが、実証試験結果報告書内での試料採取結果については検討しなければならない。

６）専門的な運転・維持管理者

実証試験期間中、適正に運転・維持管理するための定期的な保守点検、特殊清掃等の運転・維持管理は、実証申請者が作成する「取扱説明書」をもとに実証機関が行う。専門的な運転・維持管理は、し尿処理に精通し、これら作業に慣れた組織・担当者が担当することとする。実証機関は必要に応じて、本業務を外部に委託する。

実証申請者は、運転及び維持管理内容について、実際に作業する人と十分打合せを行い、作業方法を指導する必要がある。

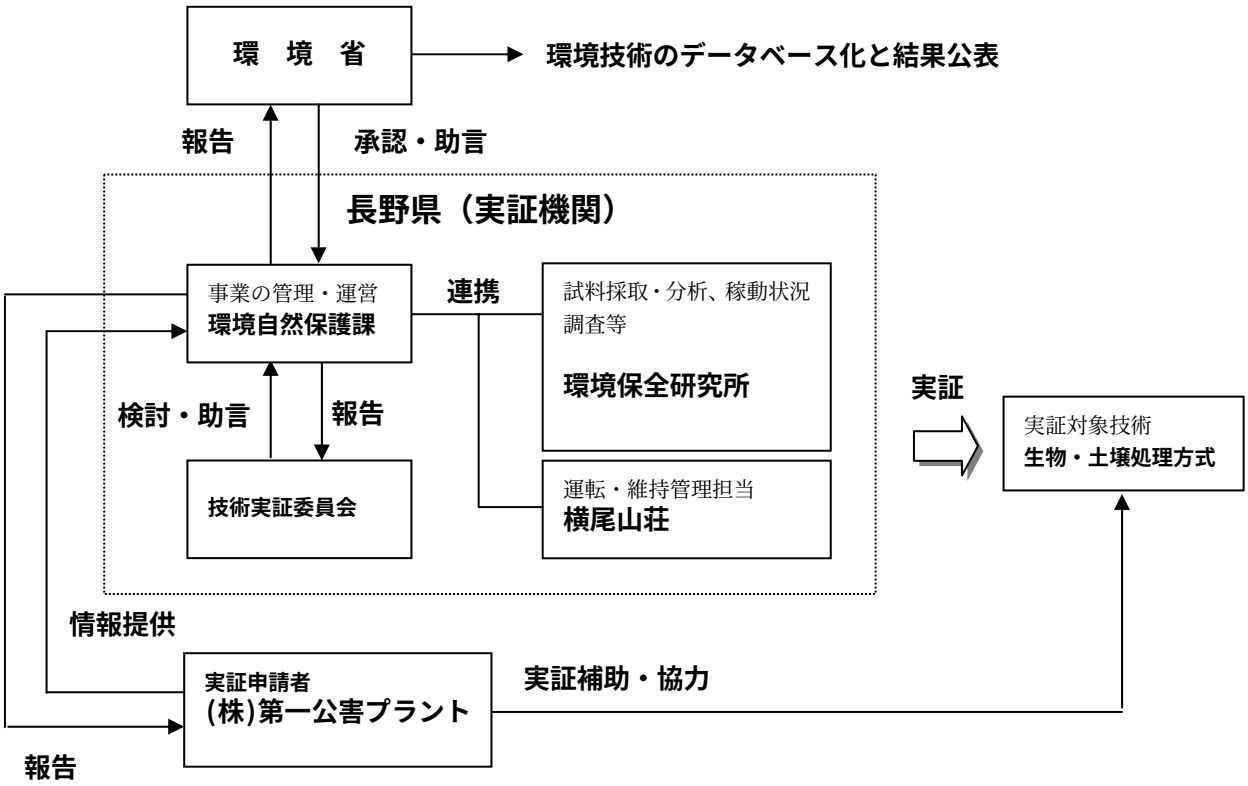


図8：実施体制図

表8：参加組織連絡先

実証機関	長野県
	〒380-8570　長野市大字南長野字幅下692-2 長野県生活環境部環境自然保護課　河原輝久、内田明香 TEL026-235-7179　FAX026-235-7498
実証試験機関	長野県環境保全研究所
	〒380-0944　長野市安茂里米村1978 環境保全チーム　鈴木富雄 TEL026-227-0354　FAX026-224-3415
	横尾山荘
	松本市安曇上高地4470番地 山田　直 TEL 0263-95-2421
実証申請者	第一公害プラント株式会社
	〒395-0824　飯田市松尾清水8104番地 設計開発部　原　清寛 TEL0265-23-1121　FAX0265-24-2911

4-1-2　実施体制

実証試験の実施体制の概略図を図8に、参加組織の連絡先を表8に示す。なお、図8及び表8の記載様式は、平成15年度富山県環境技術実証モデル事業山岳トイレし尿技術実証試験計画を参考にした。

4-2　実証試験期間

実証試験期間は、2004年8月3日～2005年8月23日までの約13か月間である。ただし、2004年11月10日～2005年5月9日までは、実証対象となった山小屋が冬季閉鎖されたため、気温、水温、地温、湿度のみ1時間間隔で連続自動測定を行った。

4-3　実証試験項目及び方法

4-3-1　稼動条件・状況

稼動条件・状況を把握するために実施した項目、方法、頻度をまとめて表9に示す。

4-3-2　維持管理性能

維持管理性能を把握するために実施した項目、方法及び頻度を表10に示す。

4-3-3　室内環境

本処理装置は、山荘から300～400m離れて設置されているため、処理装置のトイレブースへの直接的な影響はないが、参考のためトイレブース内の快適性について表11のとおり検討した。

4-3-4　周辺環境への影響

調査対象技術は、ばっ気処理を行うため、排気と共に悪臭成分が大気中に揮散することが予想される。また、最終的にばっ気処理水を土壌浸透処理させるため、そこに含まれる成分が土壌に影響を及ぼすことが考えられる。さらに、処理装置の設置により土地の改変等が行われている。そのため、表12に示した周辺環境調査を実施した。

表9　稼働条件・状況実証項目の測定方法と頻度

分類項目	実証項目	測定方法	頻度
処理能力	処理し尿量	ばっ気処理槽へのし尿投入量	バッチ処理開始時
電力	消費電力量（kWh/日）	自記電力計を設置して測定	毎日
気温	設置場所の気温	自記温度計を設置して測定	１時間間隔
地温	設置場所の地温（深さ0,50,100,150,180cm）	自記温度計を設置して測定	１時間間隔
消泡剤添加効果	ばっ気槽内の発泡状況	目視（ばっ気槽内及びマンホール周辺）	毎調査日
利用者数	宿泊客数+従業員数	宿泊者名簿より計算	毎日
消費水量	排水ポンプ洗浄水量	現場立会い	1回/月
消費燃料・資材	①自家発電消費燃料 ②消泡剤消費量	①山荘での聞き取り ②注入ポンプの設定量	営業期間中
ランニングコスト	①燃料代 ②消泡剤代	①使用量及び単価より計算 ②使用量及び単価より計算	営業期間中

4-3-5　処理性能

調査対象となる処理施設は、便槽から抜き取ったし尿に種汚泥を添加し、30℃に加温しながら1か月間ばっ気処理した後、その処理水をトレンチを利用して土壌浸透処理するもので、ばっ気処理工程及び土壌浸透処理工程の二つの工程より構成される。

したがって、システムの処理性能を評価するためには、それぞれの工程別に処理性能を把握しながら、全体的な評価を行う必要がある。そのため、以下のとおり検討を行った。

1）ばっ気処理効果

処理前のし尿及びばっ気槽内の処理水を経時的に採取し、その水質を比較した。ばっ気槽では、可能な限り槽内の平均的な水質を把握するため、ばっ気に伴う旋回流部より採水を行った。処理は1か月毎のバッチ式でRUN1～7まで、合

表10：維持管理性能実証項目の測定方法と頻度

分類項目	記録方法	頻度
日常管理全般	日常管理チェックシートに記録	1回／日
専門管理全般	専門管理チェックシートに記録	1回／月
閉山対応	冬季閉鎖時の実施内容を記録するチェックシートに記録	閉山時
発生残渣の搬出および処理・処分	発生残渣処理・処分チェックシートに記録	残渣の搬出時
トラブル対応	トラブル対応チェックシートに記録	発生時
信頼性	マニュアルチェックシートに記録	試験終了時

表11　室内環境実証項目

実証項目	方法	頻度
温度	自記温度計をトイレブース内に設置し、気温を測定・記録	1時間間隔
湿度	自記湿度計をトイレブース内に設置し、湿度を測定・記録	1時間間隔
許容範囲	利用者へのヒアリング調査により室内環境に対する快適性・操作性に関する許容範囲を把握。	合計50人（サンプル数）

表 12　周辺環境への影響実証項目

分類項目	実証項目	分析方法	調査地点	頻度
排ガス調査	アンモニア	下水試験方法第2編第5章第2節2	ばっ気槽内、トレンチ末端排気口	毎調査時
	硫化水素			
周辺土壌※	硝酸性窒素	蒸留水にて抽出後JIS K0102-43.2.5	トレンチ横10cm及び20m地点	閉山時1回
	塩化物イオン	蒸留水にて抽出後JIS K0102-35.3		
土地改変状況	設置面積、地形変更、伐採、土工量等	記録図面および'現場判断により	処理装置設置区域	1回

※周辺土壌試料の採取時期、採取場所は以下のとおりである。
・採取時期：2004 年 11 月 9 日及び 2005 年 8 月 23 日。
・採取場所：要綱Ⅴ-5-(4)図 4 に示されている A（トレンチ横 10㎝）及び B（トレンチ横 20m）地点。
・採取方法：検土杖、園芸スコップ、スパーテル等による。

計7回の処理を行った。その概要を表13に示す。ただし、RUN4は、2004年11月10日～2005年5月9日の約6か月間の越冬期間を挟んでおり、この間加温及びばっ気は行っていない。

なお、RUN1では処理開始時に、し尿処理施設より搬入した脱水汚泥を2kg/2m^{3}の割合で、またRUN2～7では直前のばっ気処理水を約50L/2m^{3}の割合でシーディング剤として用いた。またRUN4では、越冬後においてもシーディングは行わず、ばっ気槽内で越冬させた処理途中のばっ気処理水を、再度そのまま加温、ばっ気した。1回のバッチ処理に用いるし尿量はいずれも2m^{3}である。

2）土壌浸透処理効果

図5に示した検水井から土壌浸透水（以下、浸透水と略記する）を経時的に採取し、土壌浸透前のばっ気処理水と水質を比較した。また処理前のし尿の水質と比較し、処理システム全体の処理効果を見た。なお、トレンチは全部で3本（T1、

T2、T3）設置されており、その各々に検水井が付置されているので、以下これらから採取される浸透水を、それぞれP1、P2、P3と略記する。また、2004年には直径8.2㎝の塩化ビニル管に現場の土壌を1m充填したカラムを作成し、ここにトレンチと同一条件でばっ気処理水を負荷し、カラム下部から流出する浸透水（P4）を採取し同様に分析を行った。

3）試料採取頻度

試料採取頻度は、表13に示すとおり、調査期間を集中時と平常時に分類し、集中時は1回/週、平常時は1～2回/月の頻度で行った。集中時とは調査対象となった山荘において、1年間で最もトイレ利用者が多いと見込まれる4～5週間のことを指し、具体的には8月第1週～第5週でRUN1及び7がこの時期に相当する。ただし、RUN7は補足的に実施したもので、1回／週の調査は行わなかった。本方式は、便槽から抜き取ったし尿をバッチ式で処理するため、集中時に処理槽への負荷が特別高くなることはないが、ばっ気処理に伴う処理効果を詳細に把握するため、2004年の集中時に一週間間隔で調査を行った。

また、平常時とは、集中時以外の期間を指し、具体的には、5月、6月、7月、９月、10月､11月である。

要綱では、採取日を利用者が多く汚濁負荷の高い土日直後の月曜日の午前中としているが、本技術はバッチ式であるため、利用客数の変動影響を直接受けない。そのため、BODの測定日程及び現地までの所要時間等を考慮し、採取日及び試料採取開始時刻を火曜日の概ね13:00とした。

4）試料採取法及び採取用具

試料採取方法は、基本的にJIS K0102または下水試験方法に準拠して行った。

①ばっ気処理前し尿及びばっ気処理水

・採 取 法：ばっ気槽内よりピストン式採水器を用い採取した。

・採取容器：BOD等の理化学成分測定用には1Lポリエチレンびんを、また細菌試験には滅菌びんを使用した。

②浸透水

・採 取 法：検水井より専用のピストン式採水器を用いて採取した。

・採取容器：BOD等の理化学成分測定用には1Lポリエチレンびんを、また細菌試験には100mLの滅菌びんを使用した。

6）試料の保存方法

実験室に持ち帰った後、大腸菌群数は原則として直ちに、またその他の項目は冷蔵庫に保存し、可能な限り早く分析を行った。

7）試料採取時の記録事項

試料採取時の記録事項は、以下のとおりである。

①試料の名称及び試料番号

②採取場所の名称及び採取位置

③採取時の天候・気温
④採取年月日、時刻
⑤採取者の氏名
⑥採取時の試料温度
⑦試料の外観(色、濁り等)、臭気
⑧その他、採取時の状況、特記事項等

表13　試料採取日及び採取試料

時期	処理回数	調査回数	試料採取日	採取試料
集中時	RUN1	1回目	2004.8.3	処理前し尿、ばっ気処理水、浸透水
		2回目	2004.8.10	ばっ気処理水、浸透水
		3回目	2004.8.17	ばっ気処理水、浸透水
		4回目	2004.8.24	ばっ気処理水、浸透水
		5回目	2004.8.31	処理前し尿、ばっ気処理水、浸透水
平常時	RUN2	6回目	2004.9.14	ばっ気処理水、浸透水
		7回目	2004.9.30	処理前し尿、ばっ気処理水、浸透水
	RUN3	8回目	2004.10.12	ばっ気処理水、浸透水
		9回目	2004.10.31	処理前し尿、ばっ気処理水、浸透水
	RUN4	10回目	2004.11.9	ばっ気処理水、浸透水
		11回目	2005.5.10	ばっ気処理水、浸透水
		12回目	2005.5.31	処理前し尿、ばっ気処理水、浸透水
	RUN5	13回目	2005.6.28	処理前し尿、ばっ気処理水、浸透水
	RUN6	14回目	2005.7.26	処理前し尿、ばっ気処理水、浸透水
	RUN7	15回目	2005.8.23	ばっ気処理水、浸透水
集中時				

８）分析項目及び分析方法

分析項目は、山岳トイレし尿処理技術実証試験要領表9-1の循環水の欄に示されている項目に準拠して行った。具体的な項目及び分析方法は表14のとおりである。

4-3-6　トイレの維持管理

トイレの清掃に伴い使用した洗浄剤の種類及び使用量並びにトイレットペーパーの使用状況について、日常管理シートに基づき調査を行った。

表14　分析項目及び方法

分析項目及び記号	分析方法
色	下水試験方法第2編第2章第3節((社)日本下水道協会1997年)
臭気	下水試験方法第2編第2章第7節1((社)日本下水道協会1997年)
透視度	下水試験方法第2編第2章第6節((社)日本下水道協会1997年)
水温	自記温度計により測定
水素イオン濃度（pH）	下水試験方法第2編第2章第8節1((社)日本下水道協会1997年)
溶存酸素（DO）	下水試験方法第2編第2章第19節3((社)日本下水道協会1997年)
酸化還元電位（ORP）	下水試験方法第2編第3章第5節((社)日本下水道協会1997年)
電気伝導率（EC）	JIS K0102.13（日本規格協会1998年）
有機性炭素（TOC）	下水試験方法第2編第2章第24節.1((社)日本下水道協会1997年)
生物化学的酸素要求量（BOD）	JIS K0102.21（日本規格協会1998年）
塩化物イオン（Cl^-）	下水試験方法第2編第2章第31節.1((社)日本下水道協会1997年)
浮遊物質（SS）	昭和46年環境庁告示第59号　付表8
大腸菌群数	下水試験方法第3編第3章第7節.2((社)日本下水道協会1997年)
化学的酸素要求量（COD）	JIS K0102.17（日本規格協会1998年）
アンモニア性窒素（NH_4-N）	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater,Part417,C(APHA,AWWA,WPCF1985)
亜硝酸性窒素（NO_2-N）	上水試験方法VI-2、11.3（日本水道協会2001年）
硝酸性窒素（NO_3-N）	上水試験方法VI-2、12.4（日本水道協会2001年）
全窒素（TN）	JIS K0102 45.2（日本規格協会1998年）
全りん（TP）	JIS K0102 46.3.1（日本規格協会1998年）

5. 実証試験結果及び考察

5-1 稼動条件・状況

5-1-1 気温・降雨量

調査期間中（降水量については2004年8月3日～11月9日及び2005年5月10日～8月23日の間）における1時間間隔の気温及び日降水量の経時変化を図9～11に示す。調査期間中の最高、最低及び平均気温は、それぞれ25.7、-18.3及び5.5℃であった。また調査期間中の最大及び平均日降水量は、それぞれ176.5及び9.9㎜/日であった。

5-1-2 地温

処理装置設置区域の深さ0、50、100、150及び180㎝の地温経時変化を図12に示す。深さ0㎝の最高、最低及び平均地温は、それぞれ20.4、-0.5及び7.5℃で、冬季の一時期-0.5℃となったが、気温の最低値（-18.3℃）と比べると大きな差があった。これは積雪の影響によるものと考えられる。

また、深さ50～180㎝においては、厳冬期においても0℃を下回ることはなかった。

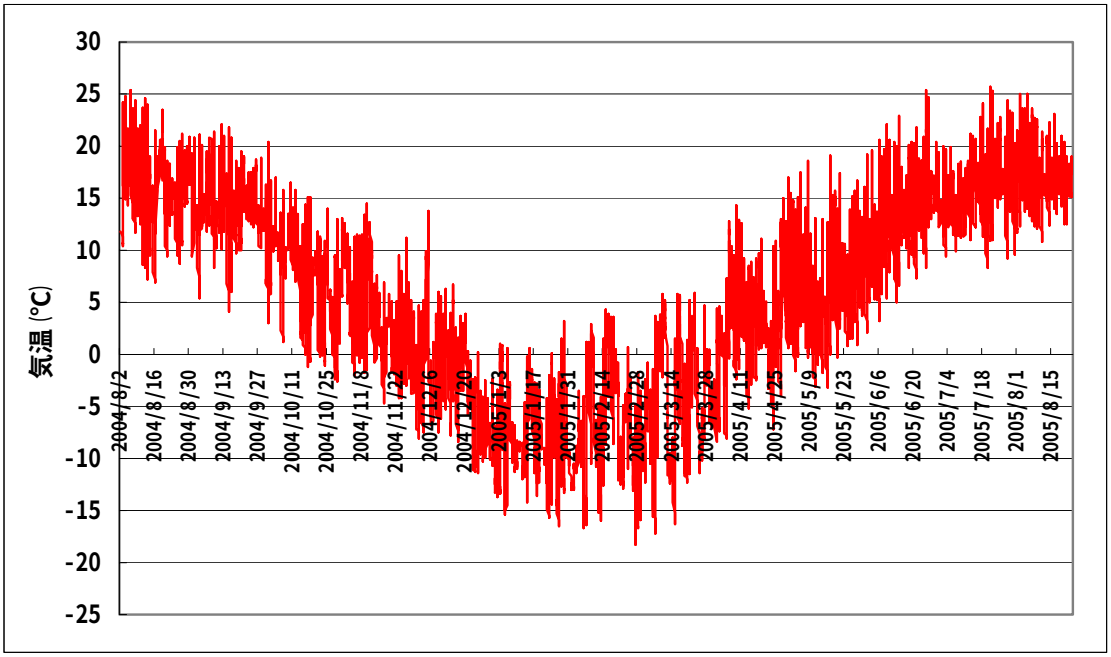


図9 実証施設設置区域の気温変化

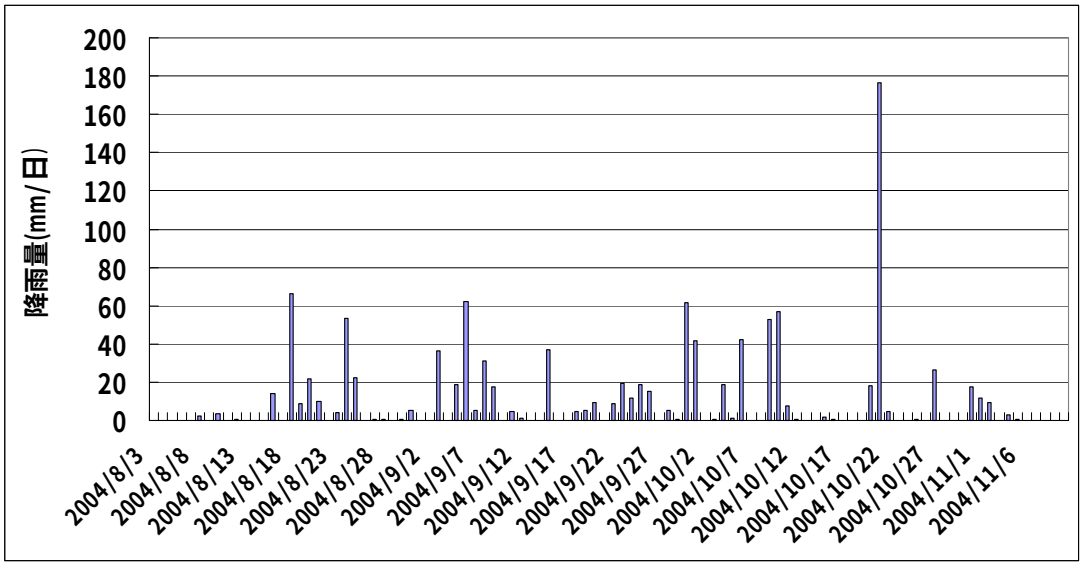


図10　実証施設設置区域における日降雨量（2004年）

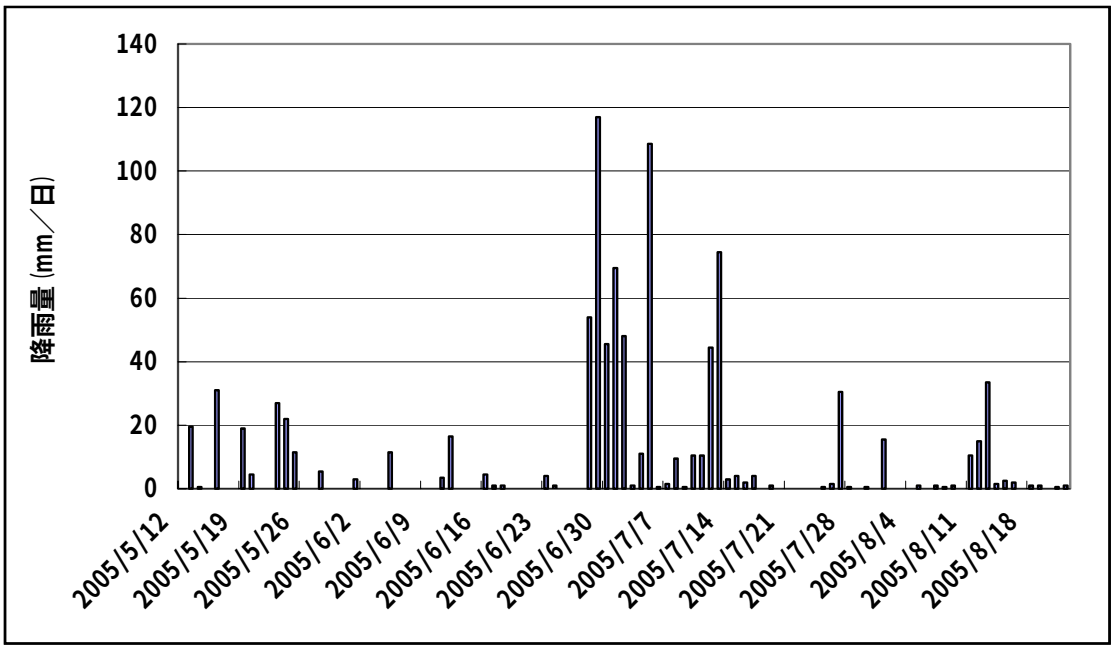


図11　実証施設設置区域における日降雨量（2005年）

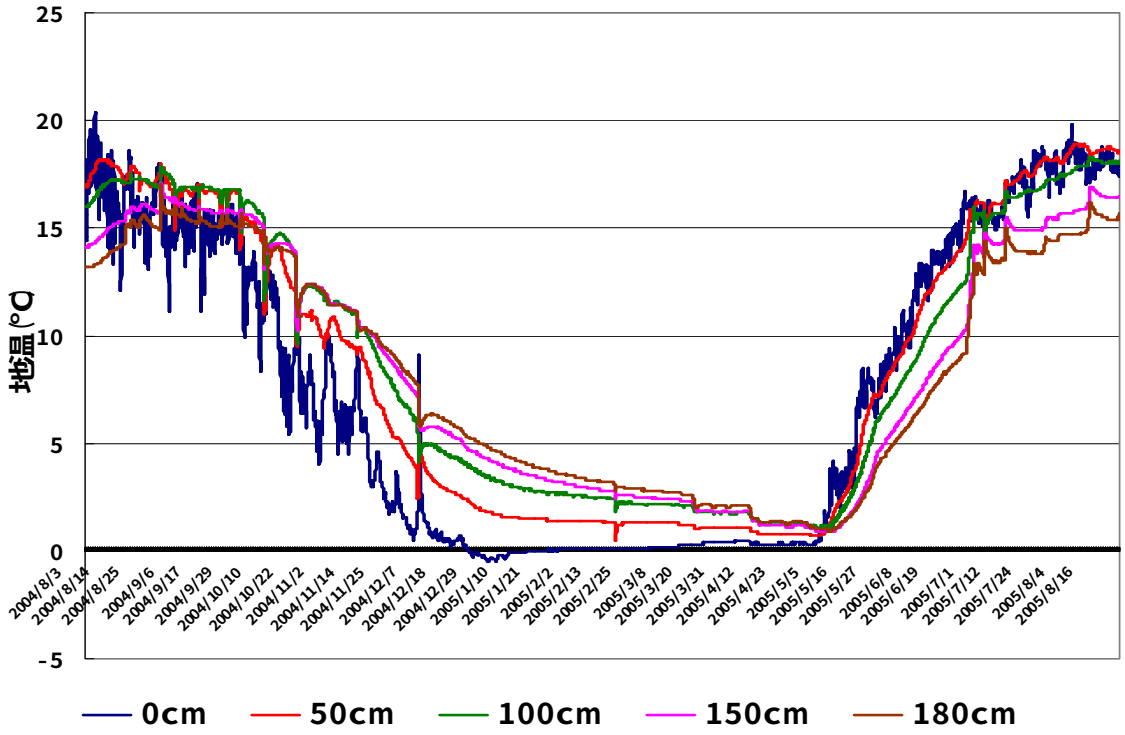


図12　実証施設設置区域の深さ別地温経時変化

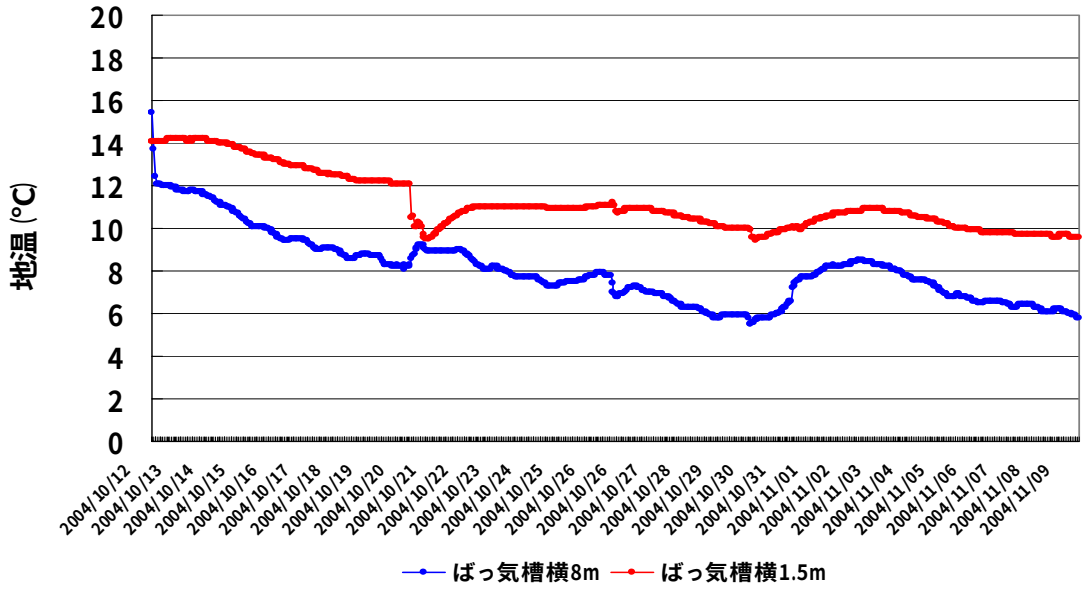


図13　ばっ気槽横1.5m及び8m地点の深さ50cmにおける
地温の経時変化

なお、地温計の設置場所がばっ気槽から約1.5mの地点にあり、加温中のばっ気槽の影響を受けていることが懸念された。そのため、新たにばっ気槽から約8m離れた地点の深さ50cmの位置に温度計を設置し、先に設置した地温計の測定結果と比較した。その結果を図13に示す。両地点は約10m離れており、日当たり等全く条件は同一とはいえないが、ばっ気槽から約1.5m離れた地点に設置した温度計が平均3℃高い値を示していることから、その地温はばっ気槽の影響を受けている可能性もあることが示唆された。

5-1-3　利用者数

調査対象施設は、処理に当り便槽から1回約2m^{3}のし尿を抜き取り、これをばっ気処理槽に投入しバッチ式で処理するため、処理装置本体に対する利用客数の影響は受けないが、宿泊客数から推定したトイレ使用人数は、図6～7に示したとおりである。

5-1-4　消費水量・消費電力量

1）消費水量

本装置は、便槽から抜き取ったし尿をそのままばっ気処理槽内に投入し、処理を行うため水の消費はほとんどなかった。ただし、ばっ気処理水をトレンチに移送する際、自吸式ラバー弁ポンプを使用したため、ホースの洗浄に月1回10～20Lの水を使用した。

2）消費電力量

処理装置の稼動に伴い消費した1日の消費電力量の経時変化を装置別に図14～15に示す。処理装置全体の消費電力量は平均24kWh/日（2004年）及び29 kWh/日（2005年）であった。この内ブロワによる消費電力量は毎日ほぼ一定で、約8kWh/日であった。これは250Whのブロワ2基の使用によるものである。ブロワの消費電力量が、2004年10月上旬に約1週間低下しているのは、5-2-5項に記すとおり、2基のブロワの内1基がこの間停止していたためである。

ヒーターの消費電力量は平均16kWh/日（2004年）及び20 kWh/日（2005年）であったが、ブロワとは異なり２つの特徴が見られた。第1はばっ気処理開始時に消費電力量の増加が見られること、及び2004年9月以降には増加傾向が、また2005年5～6月には減少傾向が見られることである。ばっ気処理開始時に消費電力量が増加するのは、加温・ばっ気処理が終了したし尿をばっ気槽から排出し、新たに便槽より抜き取ったし尿をばっ気槽に投入したため、その加温に大量の電力を消費したためと考えられる。

2004年9月以降の増加傾向及び2005年5～6月の減少傾向は、それぞれ気温の低下及び上昇によるものと考えられる。

なお、図15においてはデータの一部が欠落している。

5-1-5　消費燃料・資材等

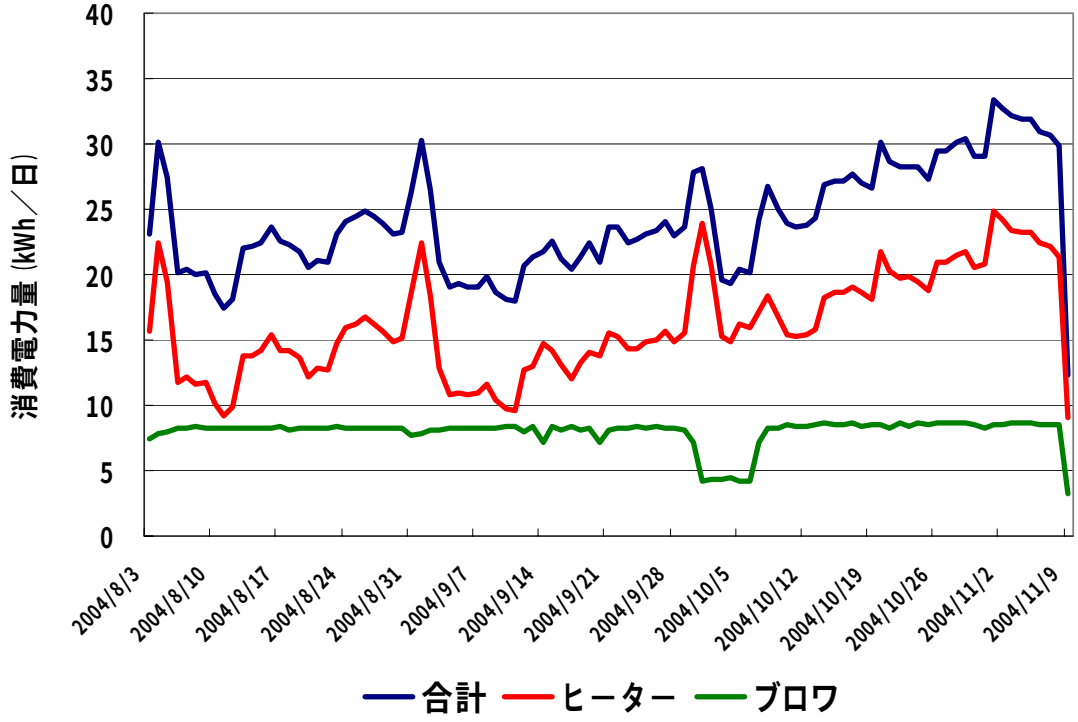


図 14　ヒーター及びブロワの日別消費電力量経時変化（2004 年）

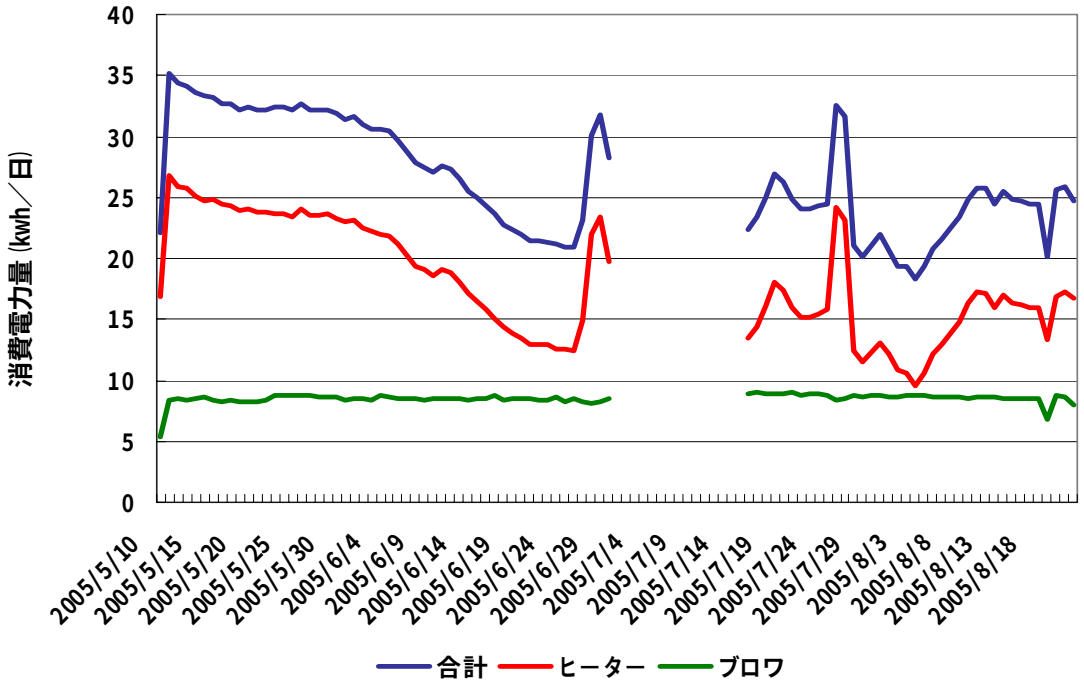


図 15　ヒーター及びブロワの日別消費電力量経時変化（2005 年）

処理装置の稼動に伴い消費される燃料、資材等は、自家発電に利用される燃料及びばっ気槽内に注入される消泡剤である。この内、処理装置の稼動に伴い消費される燃料量（ｑ）は、例えば2004年では、小屋全体の1日当たりの軽油消費量（Q）、装置の稼動に伴う消費電力量（24.3kWh/日）、小屋全体の1日あたりの消費電力量（W）から

ｑ＝Q×24.3/W

と計算される。小屋への聞き取り調査の結果、小屋全体の1日当たりの軽油消費量（Q）は平均100Lであることが確認されたが、小屋全体の1日あたりの消費電力量（W）の把握が困難なため、今回の調査では計算できなかった。

消泡剤は、ばっ気槽内に20mL/分×1分×6回/日の割合で注入されているため、1日当りの消費量は120mLと計算される。

5-1-6　ランニングコスト

本施設の稼動に伴い消費される主な燃料､資材等は5-1-5項で述べたとおり、自家発電用燃料及び消泡剤である。これらの単価は、それぞれ約100円/L及び1000円/Lである。燃料に関するランニングコストは、5-1-5で述べたとおり把握が困難であるが、消泡剤に関しては120（mL/日）×1（円/mL）＝120（円/日）と計算される。

5-1-7　まとめ

調査対象とした処理装置は、し尿を30℃に加温しながらバッチ式で1か月間ばっ気処理する方式であるため、生物学的処理で懸念される気温低下の影響をほとんど受けない。また無希釈のし尿をそのままばっ気処理するため、ほとんど維持管理が必要ない。その点では、山岳地域対応のし尿処理施設が備えるべき条件の一つを備えている。一方、ばっ気槽の稼働に当たっては1日約20～30kWhの電力を消費する。そのため、本装置の導入に当たっては、必要電力の確保が重要な検討課題の一つとなる。

5-2　維持管理性能

5-2-1　日常維持管理

本処理装置の処理フローは図4及び3-4項で述べたとおり、ほとんど維持管理を必要としないが､日常的な維持管理に必要な主な作業内容、所要人員、時間等をまとめると表15のとおりである。

5-2-2　専門維持管理

本処理装置は、ばっ気槽にし尿を投入した後、ブロワ及びヒーターに通電するだけで、維持管理はほとんど必要ない。そのため、トラブル対応以外専門的な維持管理は行わなかった。

表15　日常維持管理に伴う作業内容、所要人員、所要時間及び作業性

作業内容	所要人員	所要時間	作業性
便槽からのし尿の抜き取り(約2㎥)	2 人	15 分	簡易
ばっ気槽へのし尿の投入(約2㎥)	2 人	15 分	簡易
ブロワ及びヒーターへの通電	1 人	0 分	簡易
ばっ気処理水のばっ気槽からの抜き取り	1人	30分*	簡易

*ばっ気処理水の排出量（約2㎥）及び移送ポンプの能力（90L/分）等から計算した。

5-2-3　開山・閉山対応

本装置は、ばっ気槽及びトレンチより構成されており、両者は何れも地中に埋設されている。そのため、降雪等の影響を受ける可能性はほとんどないが、閉山時には念のためマンホール上部をビニルシートで覆った後、ばっ気槽及びヒーターを稼働させる装置への通電を停止した。

また開山時には、ビニルシートを除去した後、ばっ気槽及びヒーターを稼働させる装置に通電を行った。なお、越冬後の処理再開時には、越冬させた処理途中のばっ気処理水に対しては、新たにシーディングは行わず、2004年11月より越冬させた処理途中のばっ気処理水について直接加温、ばっ気を再開した。

5-2-4　発生物の搬出及び処理・処分

本装置は、便槽から抜き取ったし尿をばっ気槽に投入しばっ気処理した後、ばっ気処理水の一部を種汚泥としてばっ気処理槽内に残し、それ以外を全てトレンチ内に移送し土壌浸透させる。そのため汚泥等の抜き取り作業を行っていない。したがって、処理装置自体発生物の搬出はほとんどない。

しかし、トイレブースの中で使用したトイレットペーパーを分別しているため、その搬出及び処理･処分が必要となる。その主な内容は表16のとおりである。

5-2-5　トラブル対応

本処理装置の稼動に伴い実証調査期間中3件のトラブルが発生した。トラブルの内容、対応に伴う作業内容、所要人員・時間等は表17のとおりである。

1)トレンチと検水井の短絡

2004年8月3日（RUN1開始時）に、それまで処理を行ってきたばっ気処理水をトレンチに移送した直後に、3本設置されているトレンチの内1本のトレンチ（T1）に付置されている検水井内にばっ気処理水が急激に流入した。これはトレンチと検水井の間に水みちが形成され、両者が短絡したためと推定された。

表16　発生物の搬出及び処理・処分に伴う作業内容、所要時間、所要人員及び作業性

作業内容	所要人員	所要時間	作業性
分別されたトイレットペーパーのトイレブースからの搬出	2人/20ブース	30 分	容易
搬出したトイレットペーパーの焼却	1 人	60 分	容易

なお、他の2本のトレンチ（T2、T3）においては、このような現象は見られなかった。直ちに実証申請者に連絡を取り検水井を再設置した。再設置に当たっては、2004年8月30日に従来検水井が設置されていた同一地点で改修を試みたが、短絡が解消されなかったため、9月16日に別の地点に新たに検水井を再設置した。なお、実証試験に用いたトレンチは、隣接する別のし尿処理施設の一環として1991年に設置されたもので、使用開始から13年を経ている。

2)ブロワの停止

RUN3の処理を開始してから約1週間後に、2基のブロワの内1基が停止していることが確認された。直ちに、ブロワのスイッチを入ればっ気を再開した。この原因は、山荘内の発電機を切り替える際、瞬間的に過電流が流れブレイカーが切れたためと考えられる。なお、RUN3以外ではこのような現象は見られなかった。

3）水温調整不全

RUN1～4、6及び7においては、加温・ばっ気開始後おおむね48時間後に、ばっ気槽内の水温が設定値である30℃に上昇し、上昇後は一定の値を示した。しかし、RUN4の越冬後においては加温・ばっ気を再開した20日後においても水温は28℃であった。またRUN5においては、水温が一旦30℃に上昇したが、その後低下した。

実証申請者が2005年6月28日に、制御盤、ヒーター及びセンサー等の点検を行ったが、これらについては何れも異常なかった。

この原因として、以下の事項が考えられる。

①越冬後に加温・ばっ気を再開したときの水温が1℃と低く、加温に時間を要したこと。

②図13から推察されるとおり、ヒーターから供給された熱の一部が、周囲の土壌に散逸したこと。

③越冬後に加温・ばっ気を再開したときの地温が0～2℃と低く、ばっ気槽から周囲の土壌への熱の散逸が多かったこと。

④加温装置の設定が、周囲の地温が15℃であると仮定し、この条件下で水温を15℃から30℃に上昇させる場合を想定したものであったのに対し、6月末までの地温が概ね15℃以下であったこと。

以上のことから、この問題の軽減化には、ばっ気槽の保温を十分に行うことが必要と考えられる。

なお後述するとおり、この条件下でも実証申請者が保障するBOD除去率95%は確保されていた。

表17　トラブル対応の作業内容、所要人員、所要時間及び作業性

トラブルの内容	対策に伴う作業内容	所要人員	所要時間	作業性
トレンチと検水井の短絡	検水井の再設置	2人	5時間	専門的作業内容
ブロワの停止	ブロワへの通電	1人	1秒	簡易
水温調整不全	制御盤、ヒーター、センサー等の点検	1人	2時間	専門的作業内容

5-2-6　維持管理に係る信頼性

本装置は、し尿に微生物製剤あるいは種汚泥を添加した後、加温しながらばっ気処理し、その処理水をトレンチにより土壌浸透するものである。ばっ気槽へのし尿投入後に必要な主な維持管理作業は、加温、ばっ気、トレンチへのばっ気処理水の移送作業がある。これらに関する信頼性をまとめると以下のとおりである。

①加温装置に関する維持管理

ばっ気槽を30℃に加温するためには、制御盤上の温度調節装置で水温を30℃に設定し、ヒーターに通電する作業が必要であるが、いずれも簡易な作業である。このことにより、7～11月の間ばっ気槽の水温は5-5-1項で述べるとおり水温の変動幅0.3℃で安定した値を示した。また調査期間中特別な維持管理は行わなかった。しかし、越冬直後の5～6月には設定どおりの安定した水温を確保することができなかった。したがって、ばっ気槽の周囲に保温装置の付置等の対策を講ずる必要があると考える。

②ばっ気装置に関する維持管理

処理槽のばっ気を行うためには、制御板上に設置されたブロワのスイッチを入れるだけで、ほぼ安定したばっ気操作を行うことができた。ただし、RUN3の開始時に、2基あるブロワの内1基の電源が切れた経過がある。したがって、このような作業を行った後は、作業板の確認を行い正常に機能しているか確認する必要がある。

③トレンチを利用した土壌浸透に関する維持管理

本施設では、ばっ気処理水のトレンチへの移送には自給式ラバー弁ポンプを利用した。本ポンプは、使用開始に当たって、少量の呼び水が必要であるが、特別なトラブルもなく安定した稼動性を発揮した。

浸透に用いるトレンチは、通常特別な維持管理を必要としないが、長期間利用した場合、目詰まりや処理能力の低下が懸念される。今回調査対象となったトレンチは、設置後13年を経過しているが、目詰まりやBOD浄化能力の低下は認められなかった。しかし、3本あるトレンチの内1本に、水みちの形成によると見られる短絡が発生した。トラブルが発生した検水井は、トレンチの側面に接して設置されていたため水みちが形成されやすくなったと考えられる。このことから、トレンチには検水井を設置し、浸透水の水質を定期的に把握すること、また検水井はトレンチから数十cm離して設置することが望ましいと考えられる。

④発泡防止対策

本装置には、ばっ気に伴う発泡を防止するため、消泡剤の添加装置が付置されている。表13に示した調査日においてばっ気槽外への泡の流出及びその形跡は認められず、消泡装置は正常に機能していたと考えられる。

5-2-7　まとめ

本施設は、月に1回処理施設へのし尿の入れ替えを行うだけで、そのほかはほとんど維持管理を必要としない。

トラブル対応として記載したトレンチの短絡は、トレンチの使用期間が13年と長期に渡ったため、トレンチの一部に水みちが形成されたためと考えられる。3本のトレンチのうち、2本はまだ正常に稼動しているがこれを考慮すると、トレンチには検水井を設置し定期的に浸透水のモニタリングを行い、浸透水の水質が低下した場合速やかにトレンチ等の改造を行う必要がある。また、水みち形成の可能性を少しでも減らすためには 、トレンチと検水井は数十cm離して設置することが望ましいと考えられる。

5-3　室内環境

5-3-1　室温・湿度

トイレブース内の概観を図16～17に、トイレブース内の温度経時変化を図18に示す。調査期間中の最高、最低及び平均室温は、それぞれ23.3、-9.2及び6.1℃であった。8月上旬～9月下旬の間は、それほど大きな気温差はなかったが、10月上旬以降は急激に室温が低下した。

図19にトイレブース内の湿度経時変化を示す。調査期間中の最高、最低及び平均湿度は、それぞれ99、20及び68%であった。

調査対象となったし尿処理施設は、山荘と300～400m離れており、し尿処理施設の諸影響が直接トイレブースに及ぶことはないが、山小屋トイレの実態の一つを把握するため、利用客50名に対しアンケート調査を行った。その結果を表18に示す。

5-3-2　許容範囲

表18の結果からも明らかなとおり、設問1及び2に関しては、いずれも90%の人が、また設問3に関しては、74%が許容範囲内であると回答していた。

また、簡易水洗の洗浄水量が少ない、分別箱内の汚れたトイレットペーパーが見えるのが不快である等の意見が記載されていた。

2004年11月9日及び2005年8月23日に検知管を用いてトイレブース内のNH_3及びH_2Sの調査を行った。その結果、いずれもNH_3は1ppm未満、H_2Sは0.2ppm未満であった。

5-3-3　まとめ

50人に対して行ったアンケート調査の結果、その大半が許容範囲内と回答しており、ほぼ良好な室内環境が保たれていたといえる。

図16　男子小便器

図17　男子大便器

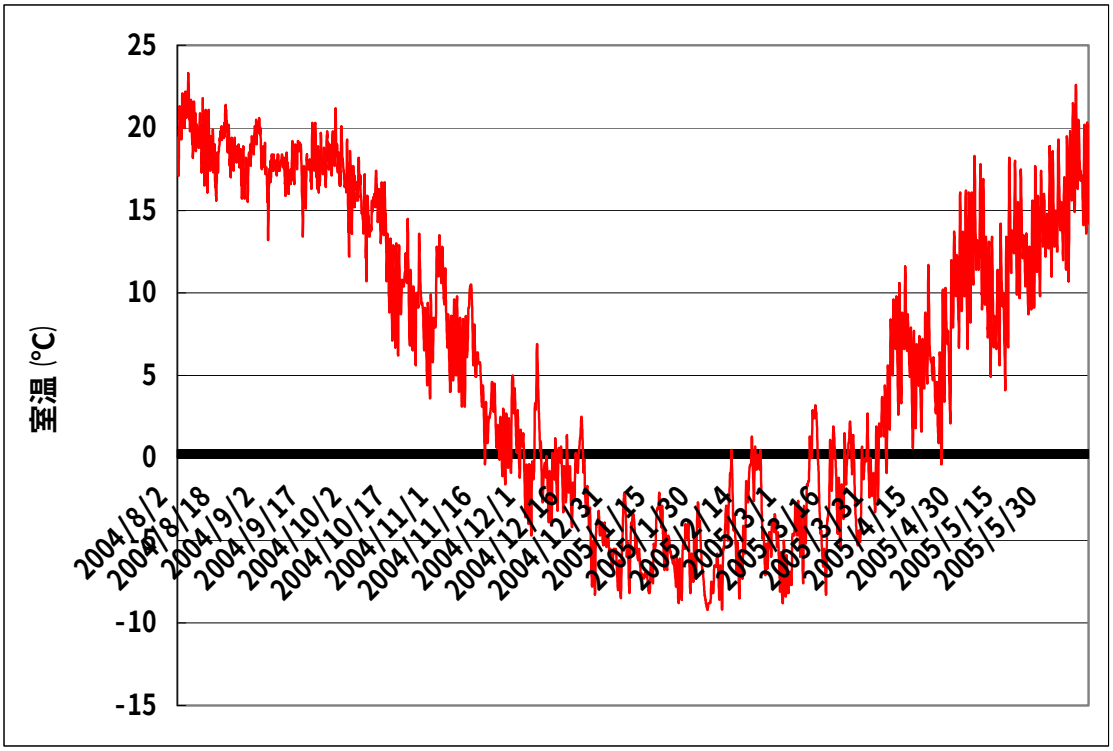


図 18　トイレブ-ス内の温度経時変化

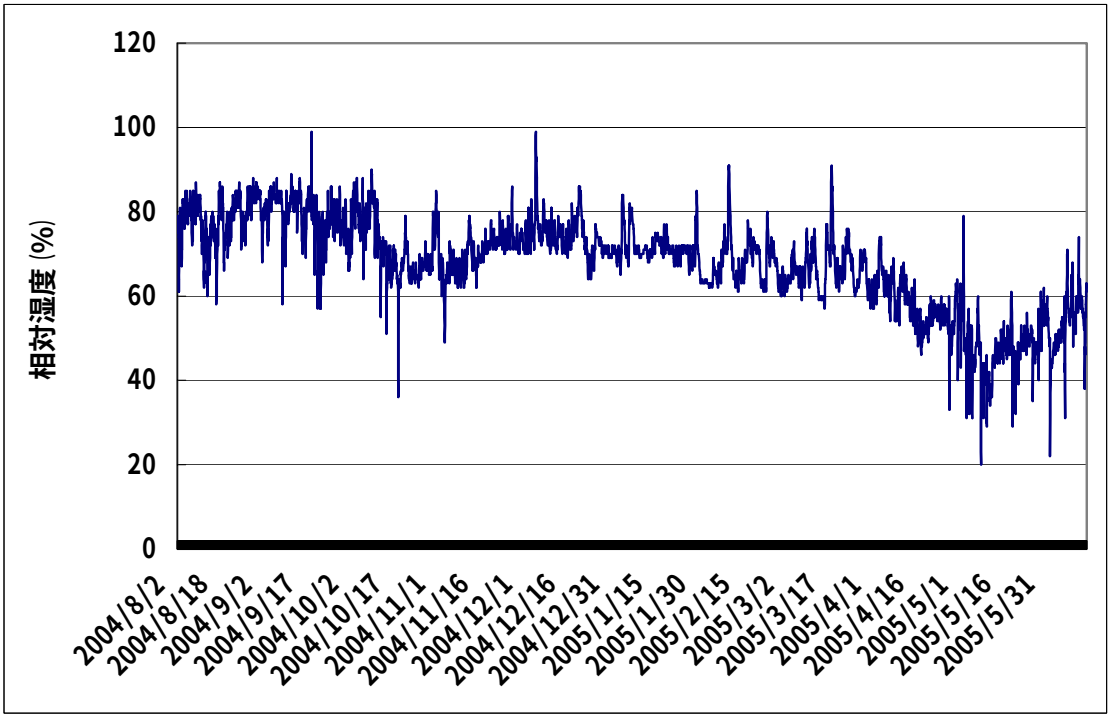


図19　トイレブ-ス内の湿度経時変化

表18　快適性に関するアンケート調査結果

設　　問	回　　答	人数
1) トイレブース内のにおいはどうでしたか	許容範囲内である	45(90)
	どちらともいえない	3(6)
	不快である	1(2)
2）トイレブ-ス内の明るさはどうでしたか	許容範囲内である	45(90)
	どちらともいえない	2(4)
	不快である	2(4)
3）洗浄水の色やにごりはどうでしたか	許容範囲内である	37(74)
	どちらともいえない	7(14)
	不快である	0(0)

注：人数欄の（）内の数字は、全回答者数に対する百分率を示す。

5-4　周辺環境への影響

5-4-1　土地改変状況

調査対象となったAbic FB型し尿処理装置は、最大有効容積3m³のばっ気槽及び総延長39mのトレンチより形成されている。ばっ気槽及びブロワの設置面積は3.6m×1.9mである。したがって、設置工事に当たってはこの範囲を掘削し、ばっ気槽を埋設した後上部をコンクリートで固める作業を行うため、これに対応する土地改変が必要である。またトレンチは、幅約60cm、深さ50cm、総延長39mの素掘りの溝を掘り、内部に散水管、接触材を埋設するため、この範囲の掘削が必要である。ただし、トレンチ設置後は上部を土で埋め戻すため、外観上は問題ないと考えられる。

5-4-2　周辺土壌への影響

土壌中のNO_3-N及びCl^-の分布を図20に示す。トレンチから約20m離れた地点（以下、対照区と略記する）及びトレンチ（T2）横の深さ70-80cm中における土壌中のNO_3-N及びCl^-を比較すると、NO_3-N では2005年、またCl^-では2004年において対照区に比べトレンチ横で著しく高い値が見られた。土壌中においてNO_3-Nが増加するのは、主にトレンチ流入水中に含まれているNH_4-Nが、土壌中の硝化細菌によりNO_3-Nに酸化されたためと考えられる。

またCl⁻が増加するのは、ばっ気処理水中に含まれていたCl⁻の影響によるものと考えられる。これらの結果から、トレンチの流入口からこの地点（T2のほぼ中央）までばっ気処理水が浸透していることが示唆された。

5-4-3　排気ガス

ばっ気槽内及びトレンチ末端部の排気口のNH_3及びH_2Sの調査結果を図21に示す。RUN1では、ばっ気処理開始直後においては、ばっ気槽内空気中のNH_3は比較的低く50ppmであったが、1週後には1,000ppmに急増した。これは、し尿中の有機態窒素（以下、ONと略記する）がNH_3に分解され揮散したためと考えられる。しかし、ばっ気槽内空気中のNH_3濃度は、ばっ気を継続すると２、３、４週後には、それぞれ400、15及び1ppmに減少した。ばっ気の継続に伴い空気中のNH_3濃度が減少するのは、主にNH_3の揮散によりばっ気処理水中のNH_3が減少するためと考えられる。この様な傾向はRUN2～3においても見られ、2週間後にはそれぞれ320及び470ppm、4週間後には2及び50ppmとなった。

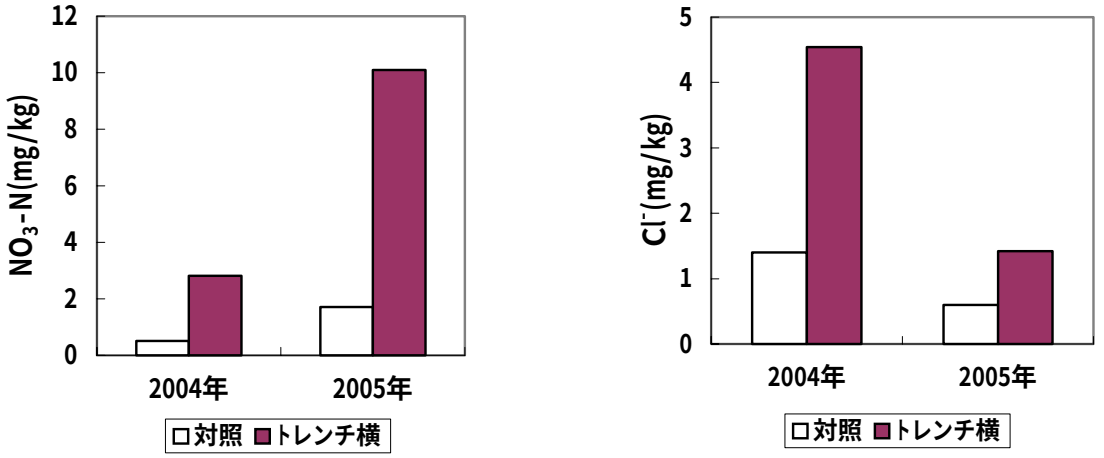


図 20　土壌中の NO_3-N 及び Cl^- 濃度分布

一方、ばっ気槽からの排気が大気中に排出されると考えられるトレンチ末端部の排気口におけるNH_3濃度は1ppm未満～8ppmであった。ばっ気槽からの排気の一部は、マンホールや分水槽あるいはトレンチ周辺の土壌から散失している可能性もあるが、トレンチを経由するとNH_3が著しく減少することが確認された。なお、排気口におけるNH_3は、ばっ気槽内のNH_3に比べ著しく少ないため、図21の棒グラフではほとんど目視できる高さとして現れていない。

ばっ気槽内におけるH_2Sは、ばっ気処理開始直後180～3,500ppm含まれていたが、1週目以降0.2～8ppm以下に減少した。またトレンチ末端部の排気口におけるH_2Sは、RUN1～5までばっ気処理開始時においても0.2ppm以下であった。しかし、RUN6及び7ではし尿投入時のばっ気槽内におけるH_2Sが1,300及び700ppmであったのに対し、排気口では220及び10ppmを示した。ばっ気処理開始直後のばっ気槽内におけるH_2S濃度は、致死量に相当する場合があるので注意を要する。

なお、RUN1～5の排気口におけるH_2Sは少ないため、図21では目視できる高さとして現れていない。

5-4-4　まとめ

ばっ気処理開始直後の排気中にはH_2Sが最高3,500ppm含まれていたが、1～2週間後には8ppm以下に急激に減少した。一方、NH_3はばっ気処理開始直後には50ppm以下と比較的少なかったが、1週間後には数百ppmに急激に増加した。

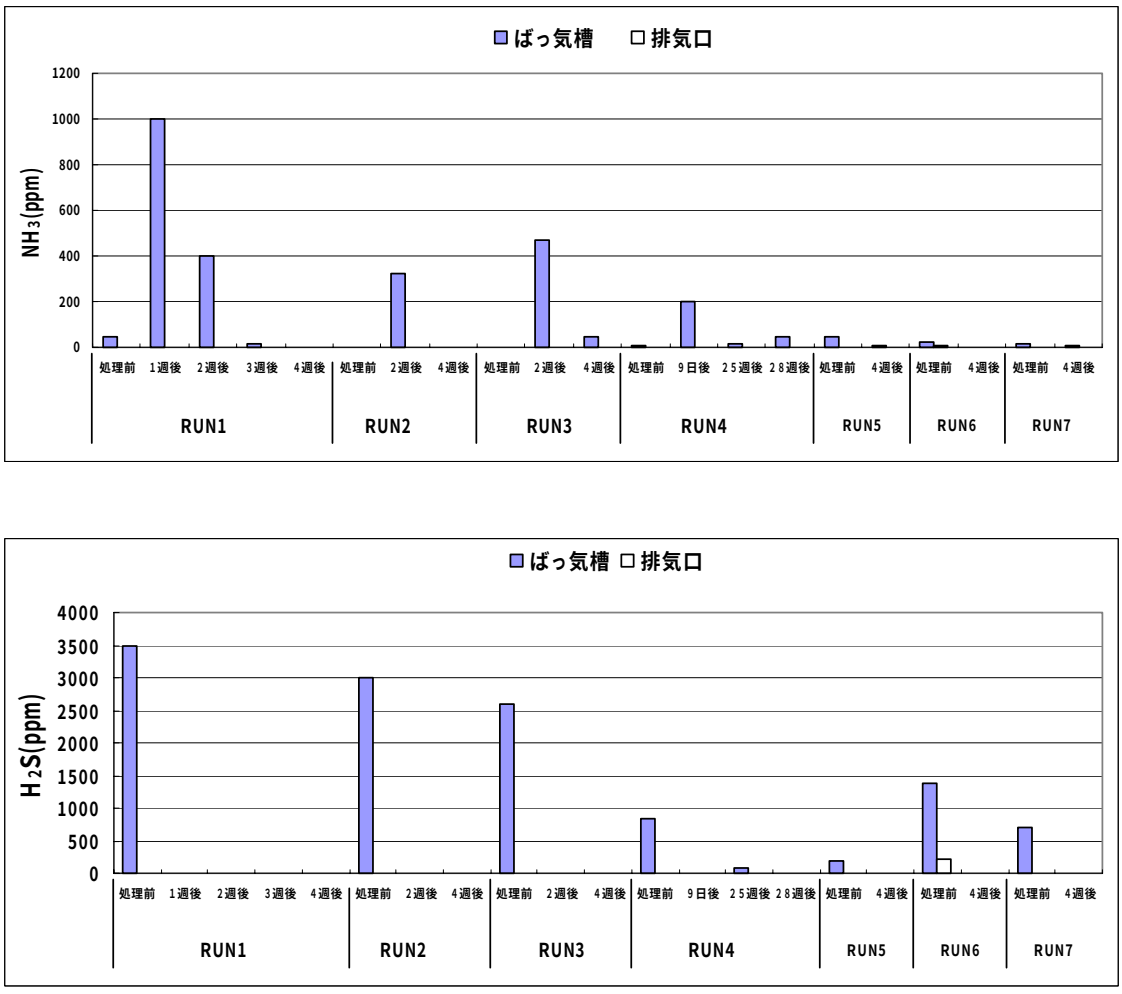


図21　ばっ気槽内及び排気口における空気中のNH_3及びH_2S濃度

ばっ気槽から排出される大半の排気は、トレンチを通しその末端部から大気中に排出されると考えられるが、その排出口におけるH_2S及びNH_3は、ばっ気槽内の値と比べ低下した。この結果から、トレンチは悪臭成分の除去装置としても一定の機能している可能性があることが示唆された。

5-5　処理性能

5-5-1　試料分析結果

1）し尿のばっ気処理効果

①水温

ばっ気槽内の水温経時変化を図22に示す。ばっ気槽内へのし尿入れ替え時には何れも急激な水温低下が認められたが、RUN4の越冬直後及びRUN5を除くと、加温・ばっ気開始後48時間でおおむね30℃に上昇し、それ以後はほぼ安定した水温が確保された。図23に一例として水温が安定していた2004年8月5日～31日の水温変化を拡大して示す。この間の平均水温は30.6℃、最高と最低の温度差は0.3℃で、安定した水温が確保されていた。

ばっ気槽内のし尿を入れ替えた後、槽内の温度が30℃になるまでに要する時間は、RUN1、2、3、4の順にそれぞれ44、39、50、100hで、気温の低下に伴い設定温度になるまでに要する時間は長くなった。ただし、RUN4においても、設定温度（30±5℃）に達するまでの時間は48時間以内であった。

なお、RUN4の越冬直後及びRUN5では、上記したような加温効果は確保されなかった。その原因は、5-2-5項の3)で述べたとおりである。

②BOD、COD、TOC

ばっ気処理に伴うし尿中の汚濁成分等の経時変化を図24～30に、処理前のし尿及びばっ気処理水の上澄み（以下、上澄みと略記する）中の汚濁成分等の経時変化を図31～37に示す。また処理前のし尿に対する４週後のばっ気処理水及び上澄み中の汚濁成分等の除去率を表19に示す。

BOD、COD、TOCは、ばっ気処理に伴いいずれも減少する傾向を示した。特にBODの除去効果は高く、処理前のし尿に対する4週後のばっ気処理水のBOD除去率は96～100%、平均98%で、実証申請者が保証している処理性能（ばっ気処理水における１か月後のBOD除去率95%）は確保されていた。

一方、4週後における上澄みのBOD除去率は何れも99%以上で、実証申請者が保障している土壌浸透後のBOD除去率と同程度であった。

処理前のし尿に対する4週後のばっ気処理水中のCOD及びTOC除去率は、それぞれ33～84及び63～84%、平均ではそれぞれ60及び75%で、BODに比べるとその除去率は低かった。

処理前のし尿に対する4週後の上澄みのCOD及びTOC除去率は、それぞれ68～92%及び78～94%、また平均ではそれぞれ80及び87%で、ばっ気混合液では比較的除去率の低かったCODにおいても、上澄みでは平均80%の除去効果を示した。

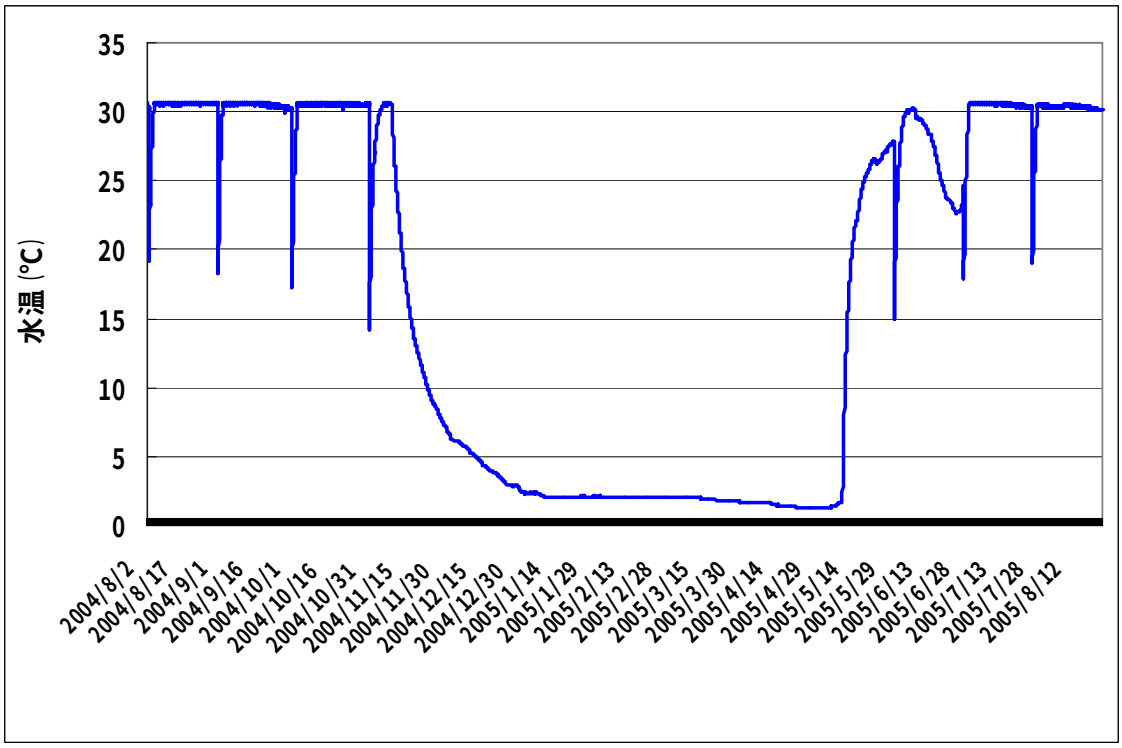


図 22　ばっ気槽内の水温経時変化

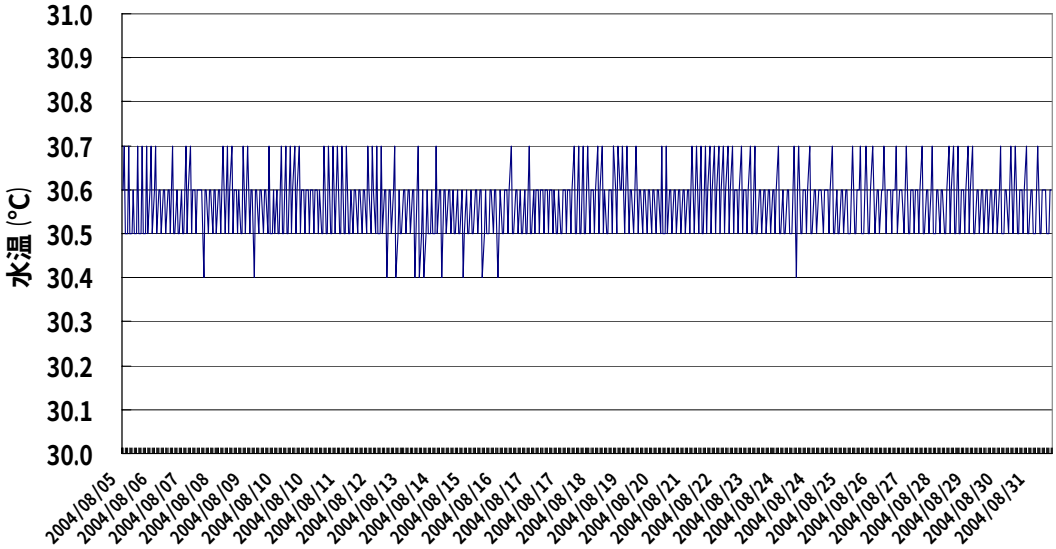


図 23　2004 年 8 月 5～31 日のばっ気槽内水温経時変化

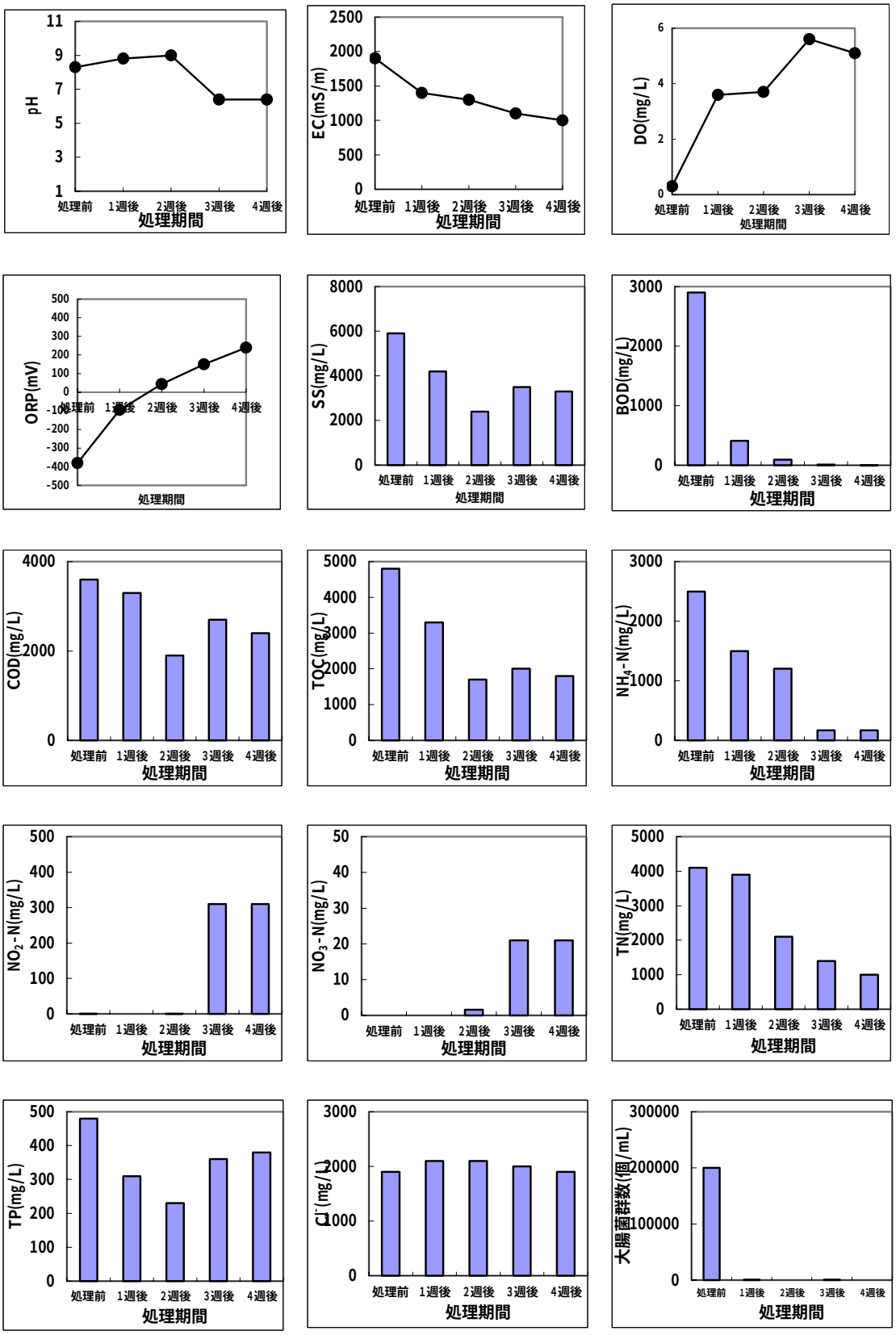


図24　ばっ気処理に伴うし尿中の汚濁成分等の経時変化（RUN1）

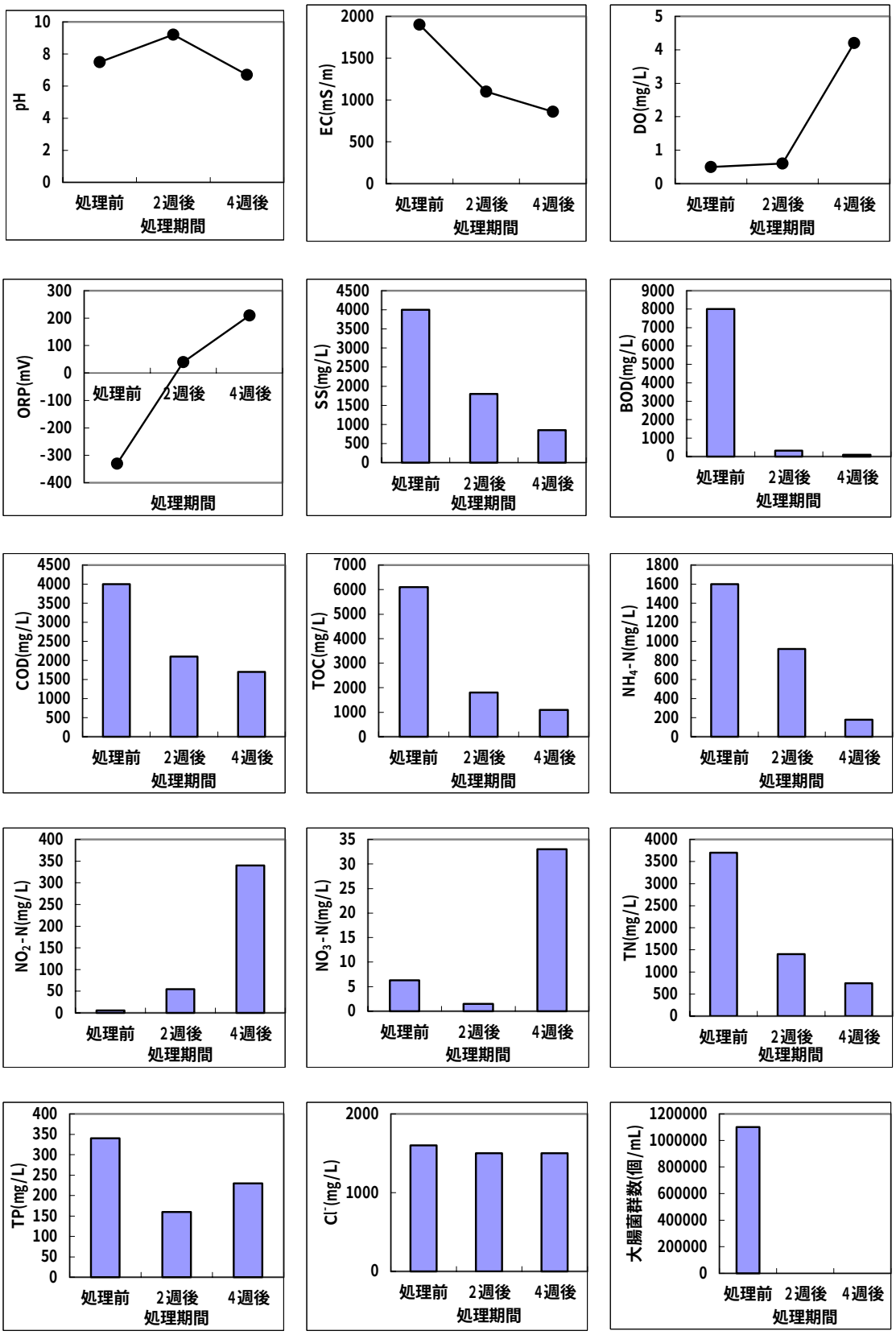


図25　ばっ気処理に伴うし尿中の汚濁成分等の経時変化（RUN2）

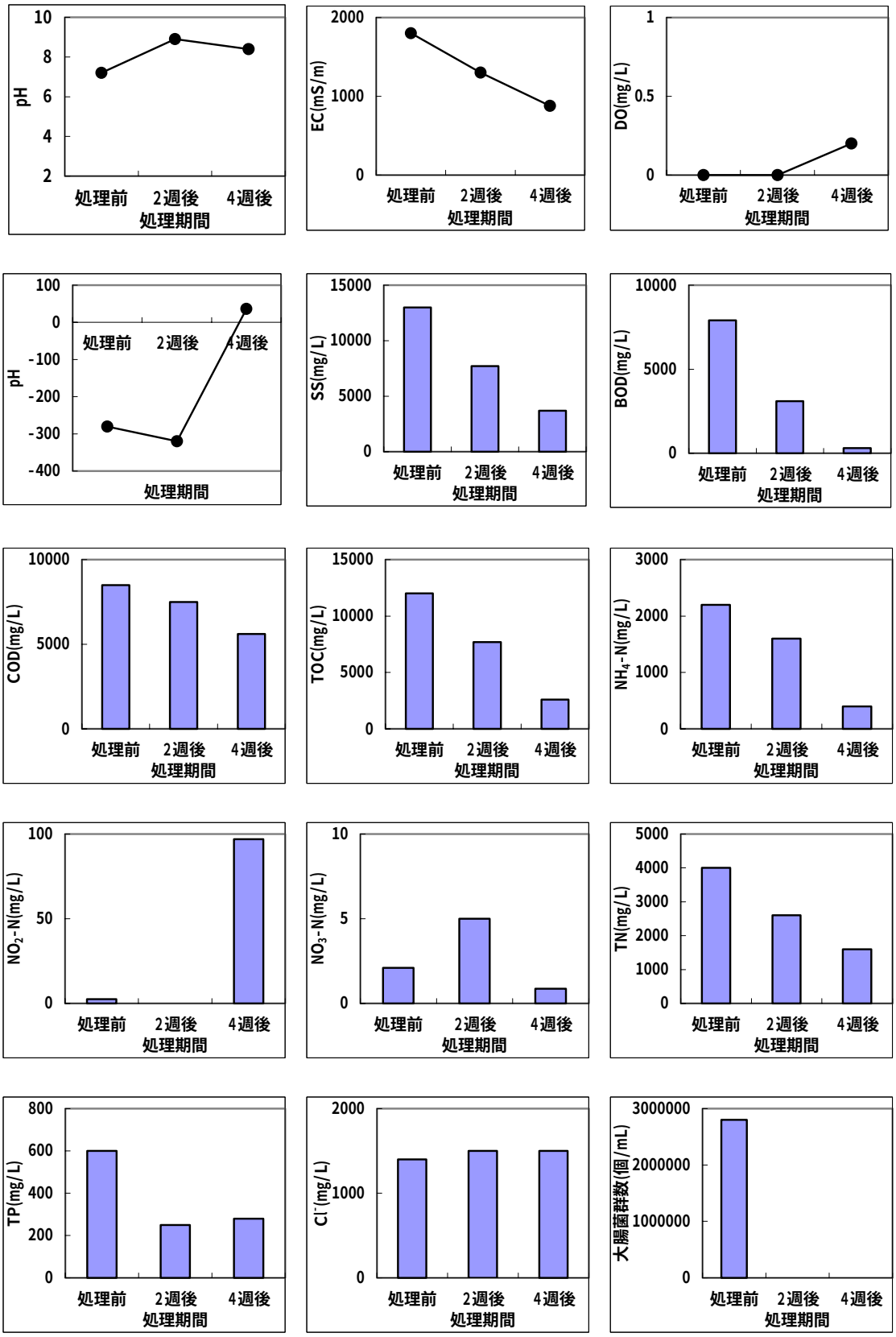


図26　ばっ気処理に伴うし尿中の汚濁成分等の経時変化（RUN3）

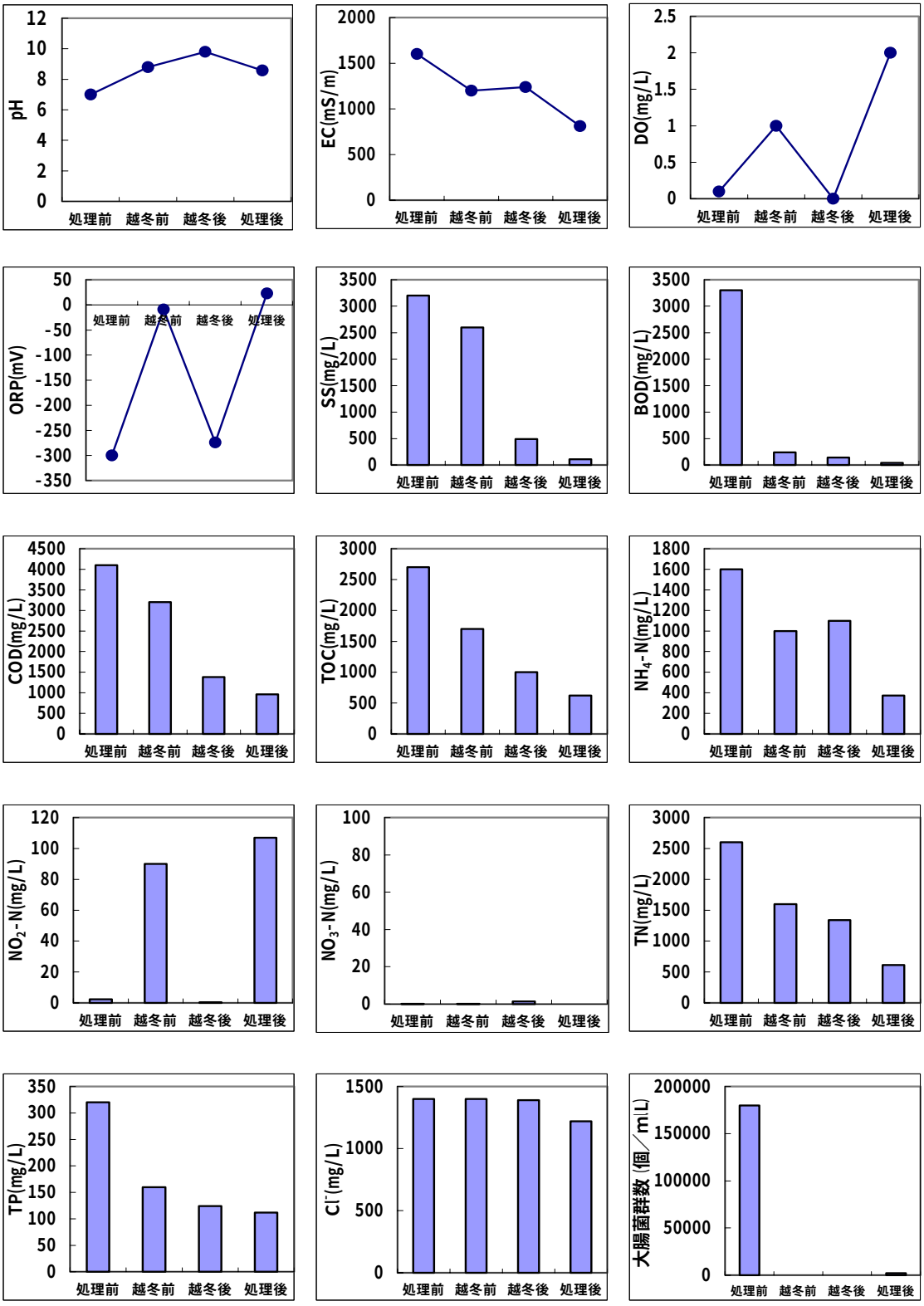


図27　ばっ気処理に伴うし尿中の汚濁成分等の経時変化（RUN4）

注）処理前：2004年10月31日、越冬前：2004年11月9日、越冬後：2005年5月10日、処理後：2005年5月31日

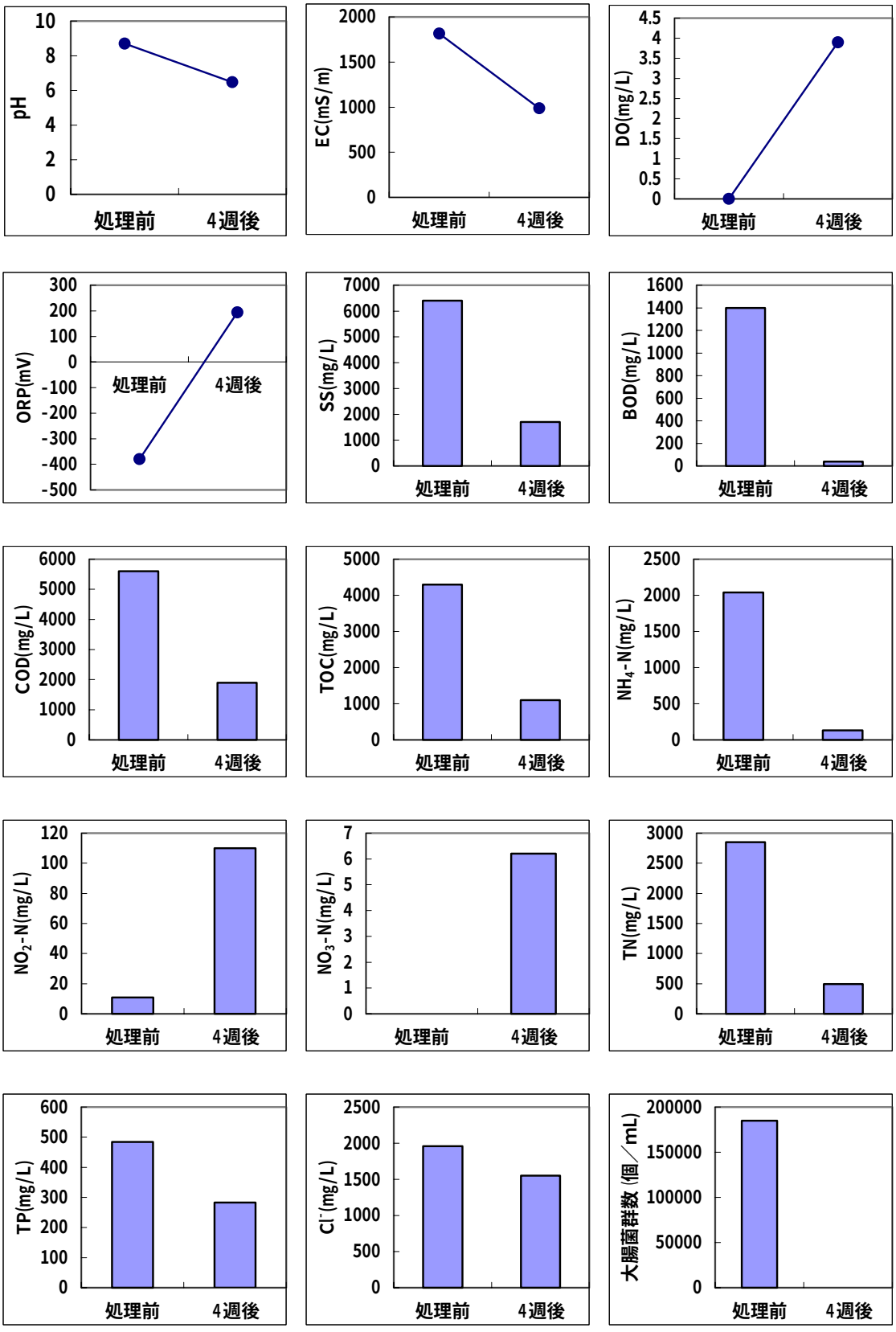


図28　ばっ気処理に伴うし尿中の汚濁成分等の経時変化（RUN5）

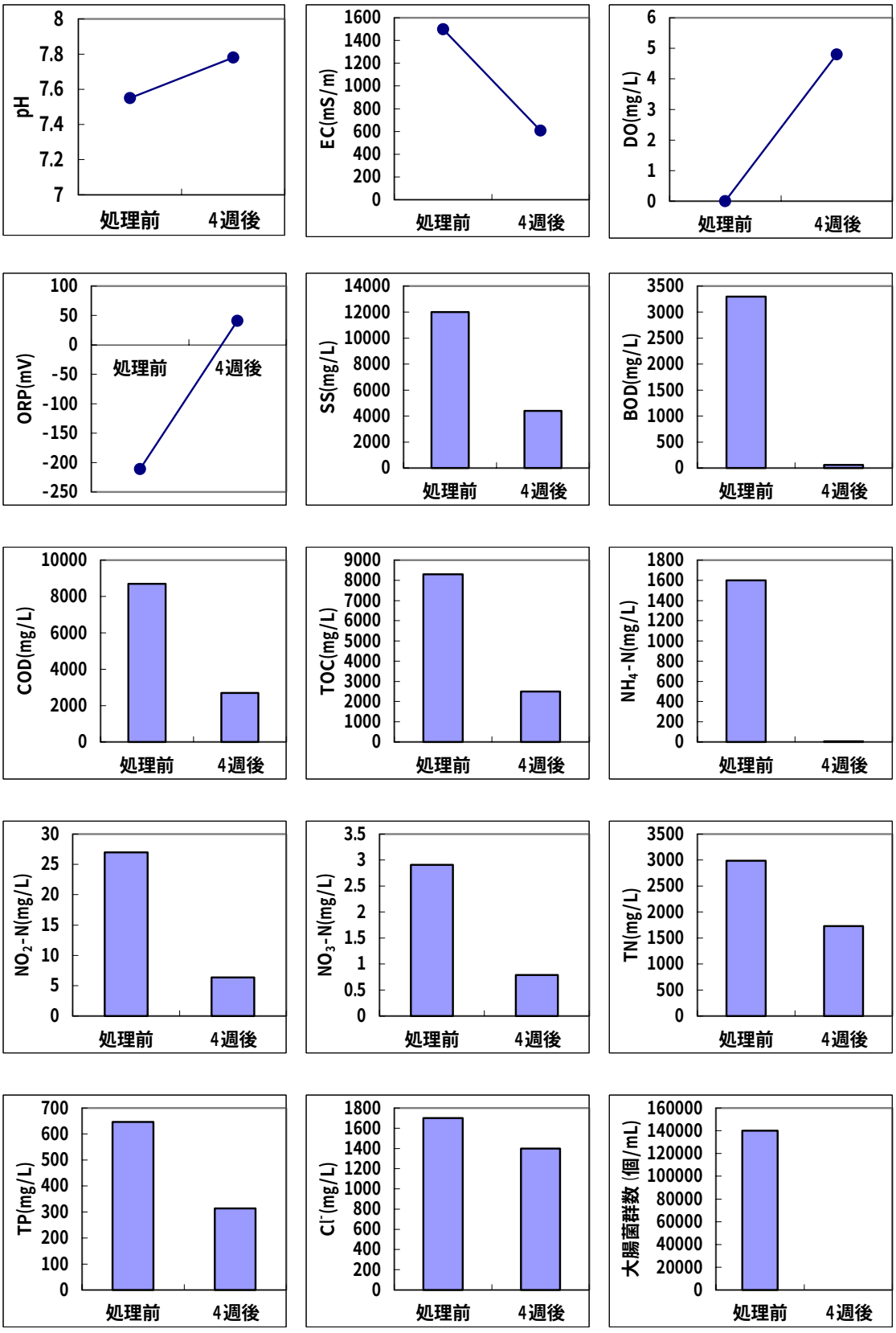


図29　ばっ気処理に伴うし尿中の汚濁成分等の経時変化（RUN6）

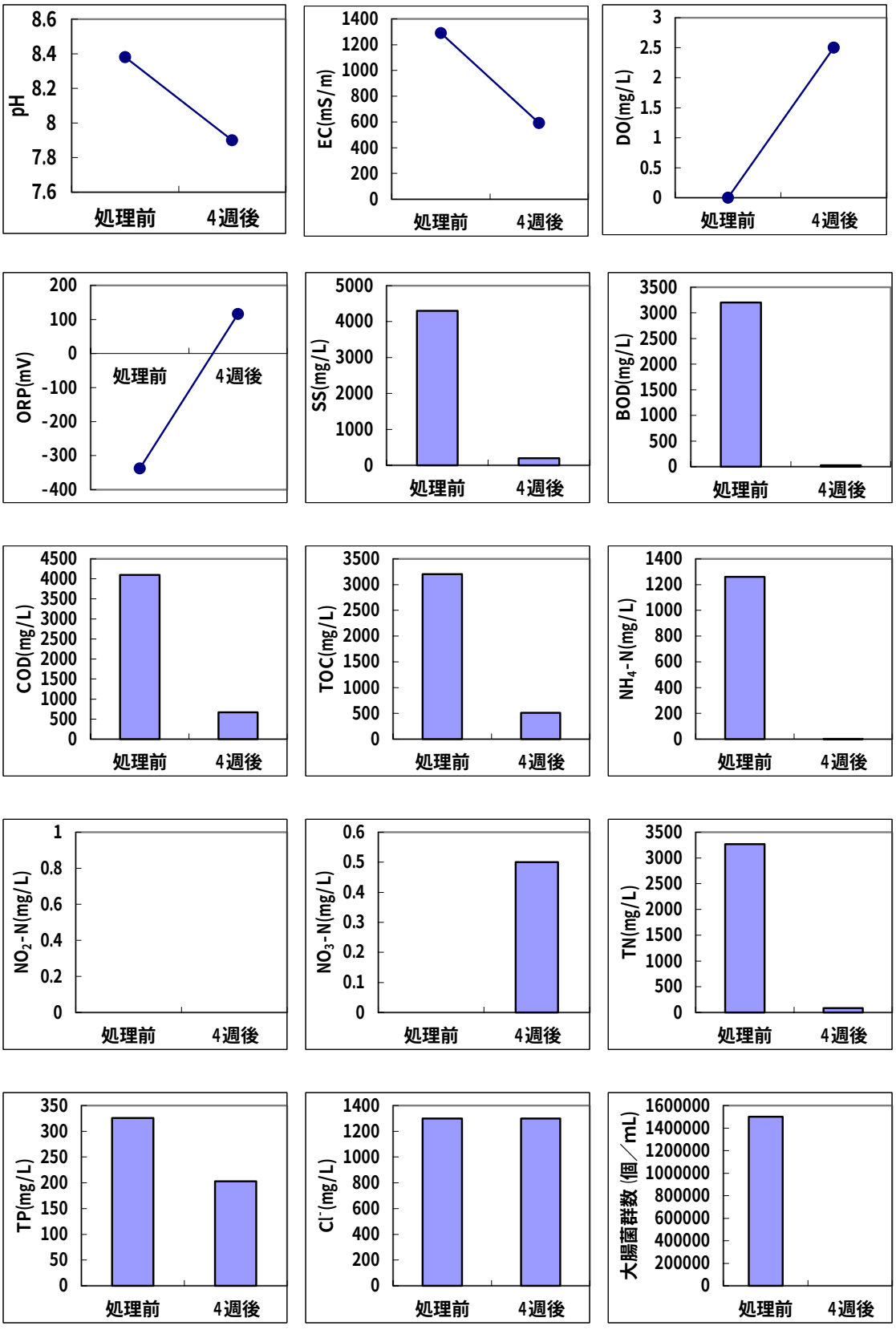
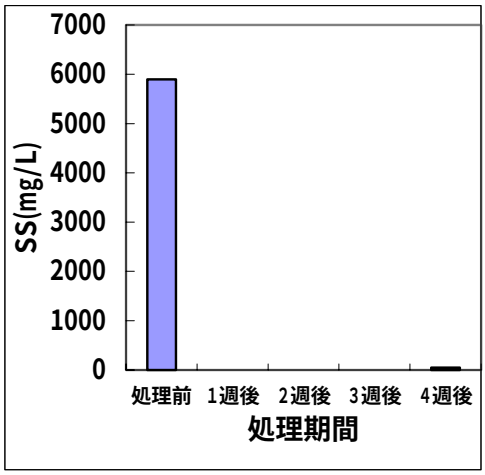
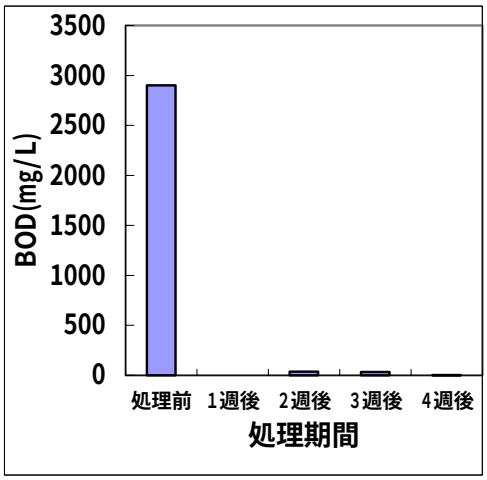
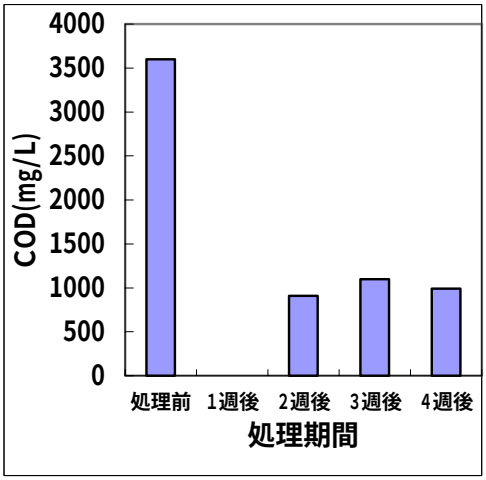
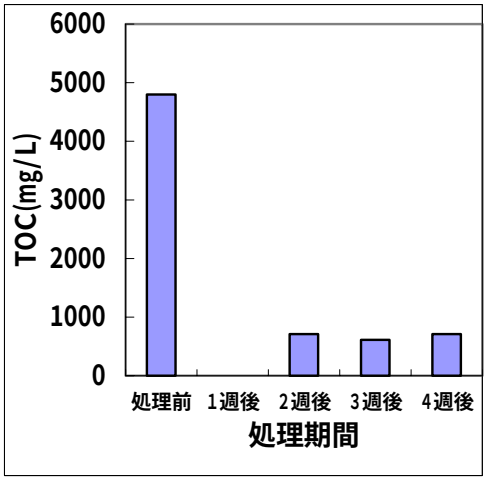


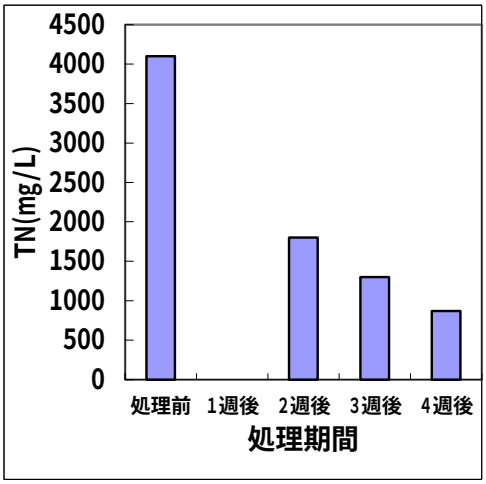
図30　ばっ気処理に伴うし尿中の汚濁成分等の経時変化（RUN7）











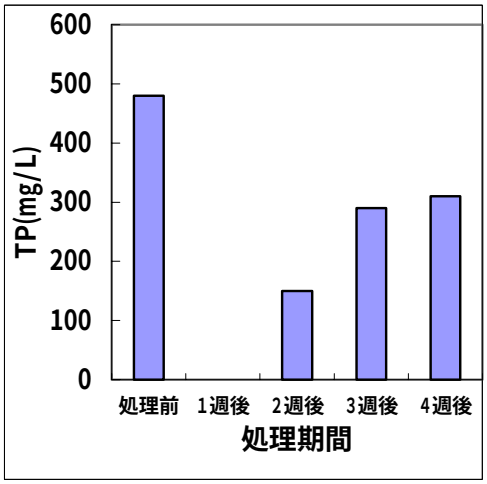


図31　ばっ気処理に伴うし尿上澄み中の汚濁成分等の経時変化（RUN1）

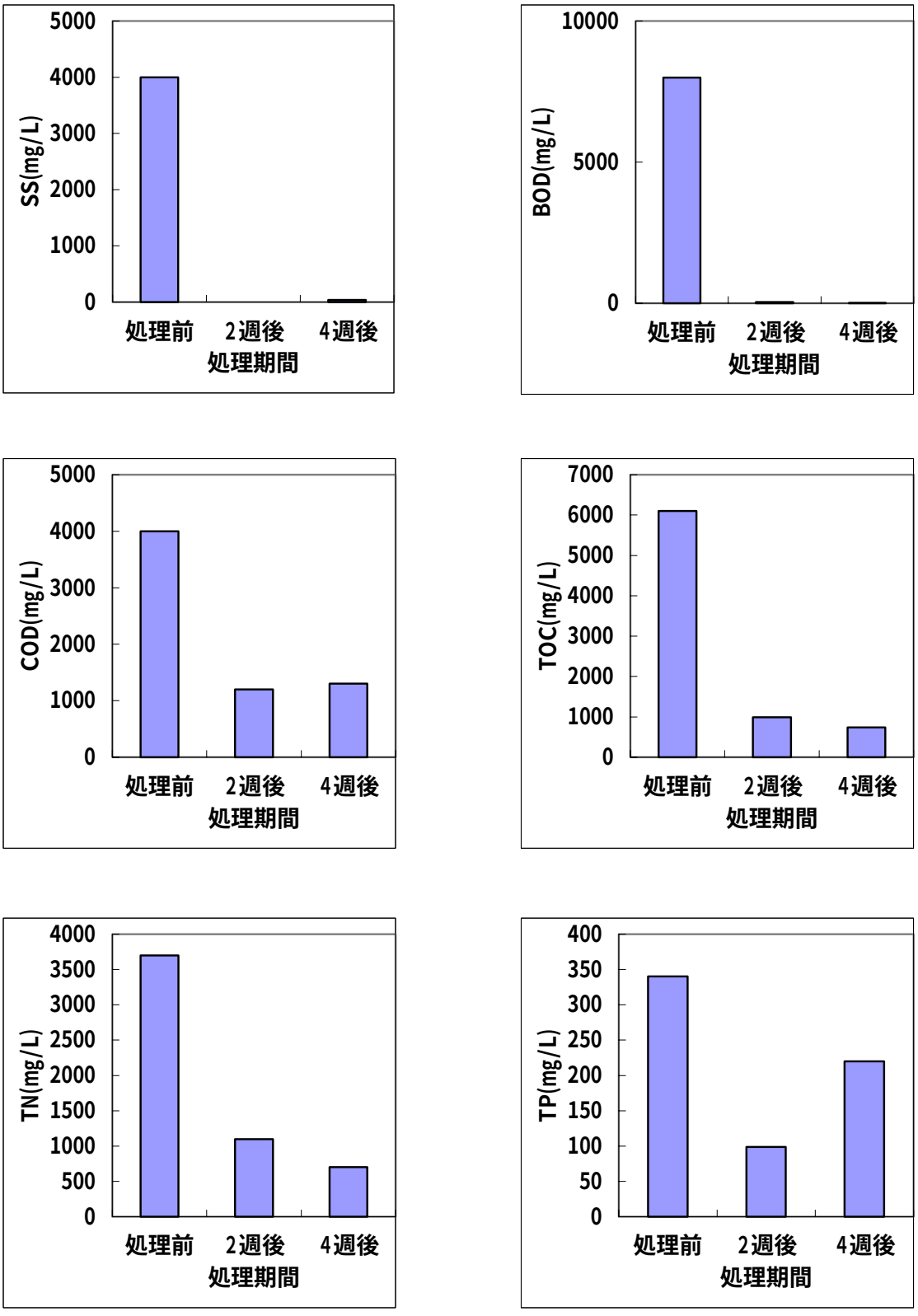
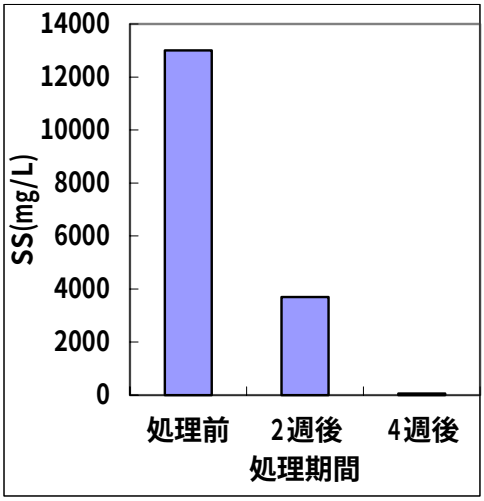
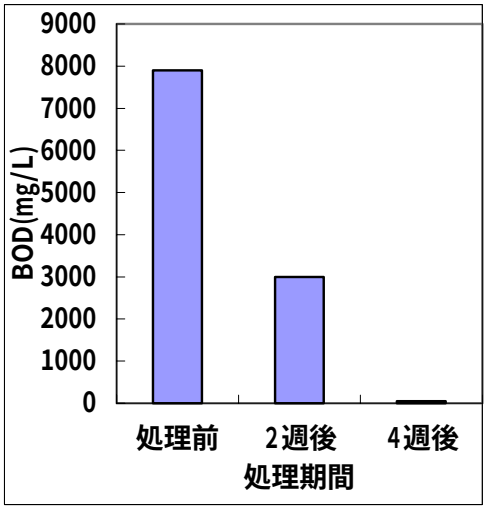
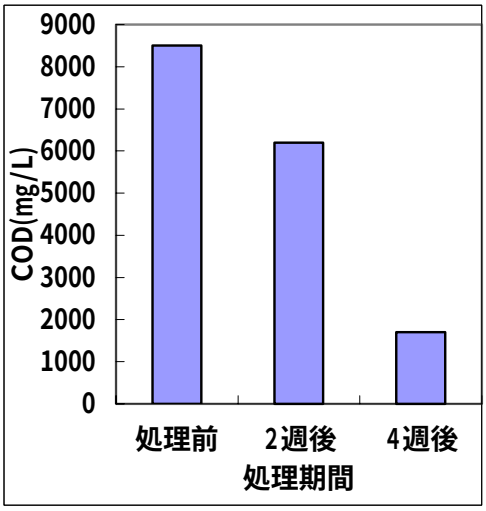
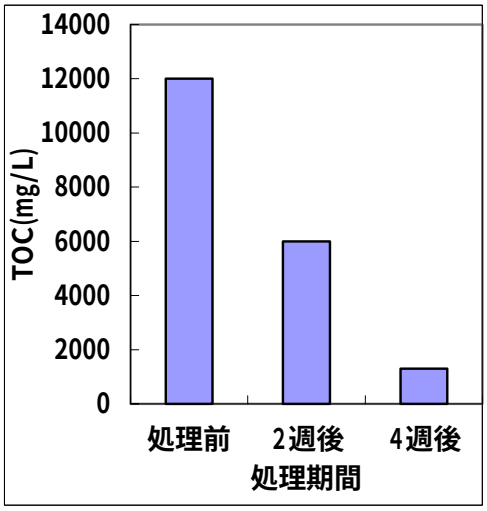


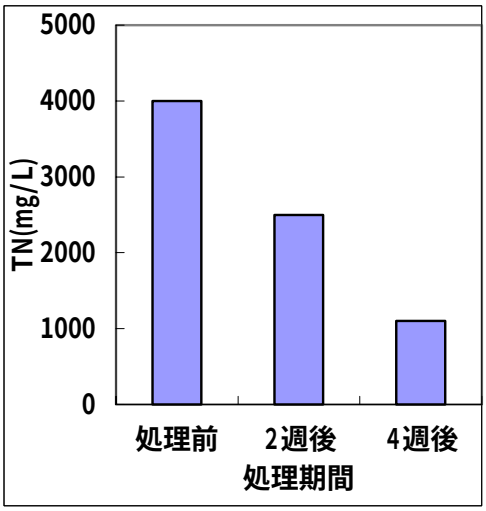
図32　ばっ気処理に伴うし尿上澄み中の汚濁成分等の経時変化（RUN2）











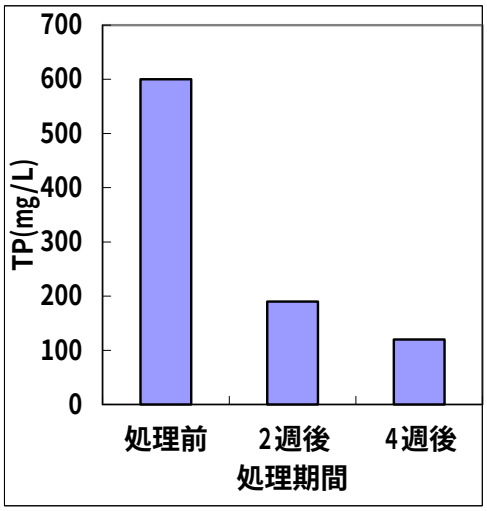
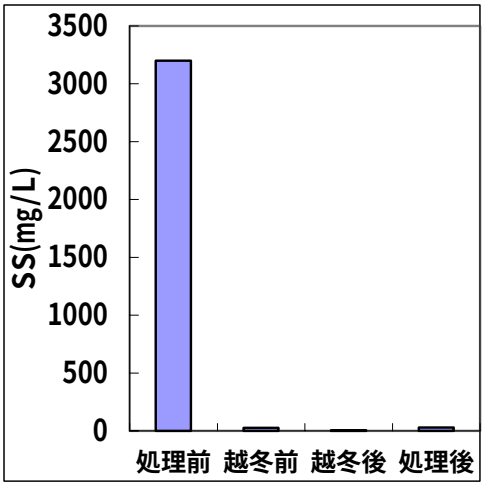
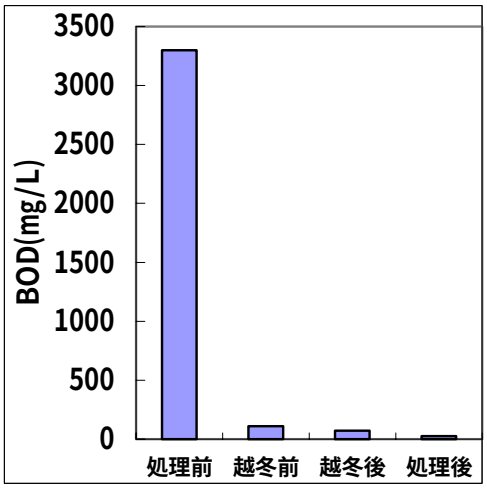
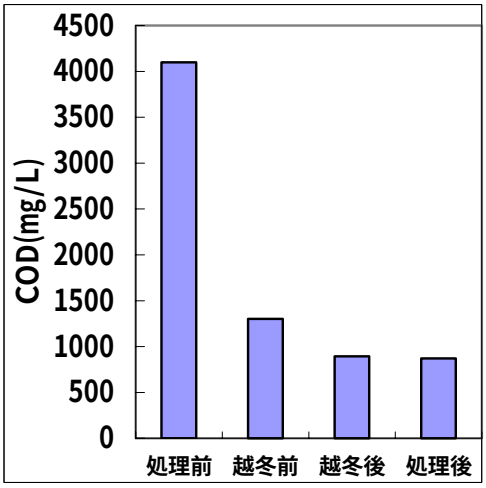
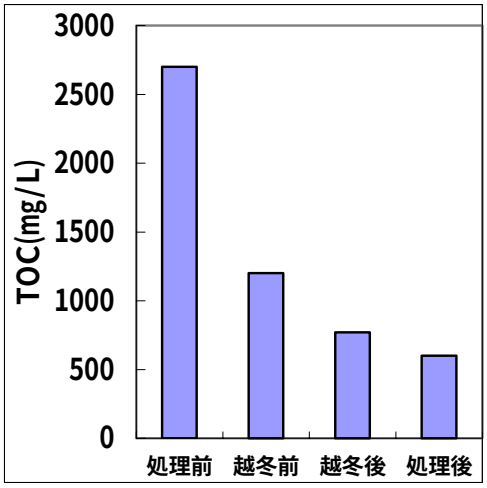


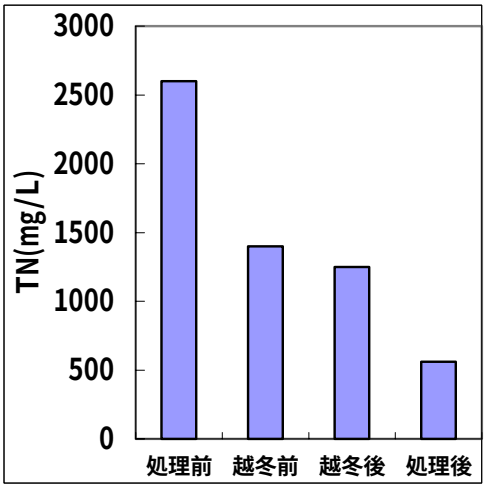
図33　ばっ気処理に伴うし尿上澄み中の汚濁成分等の経時変化（RUN3）











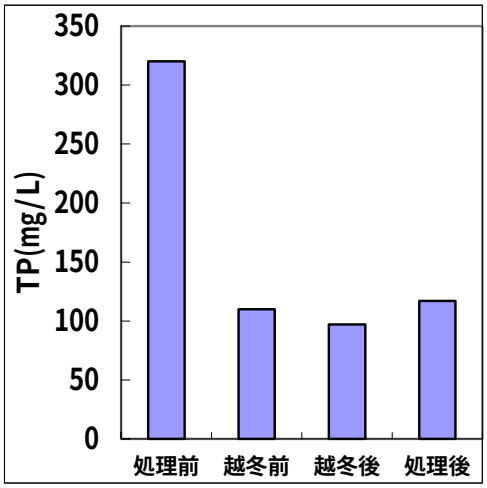


図34　ばっ気処理に伴うし尿上澄み中の汚濁成分等の経時変化（RUN4）

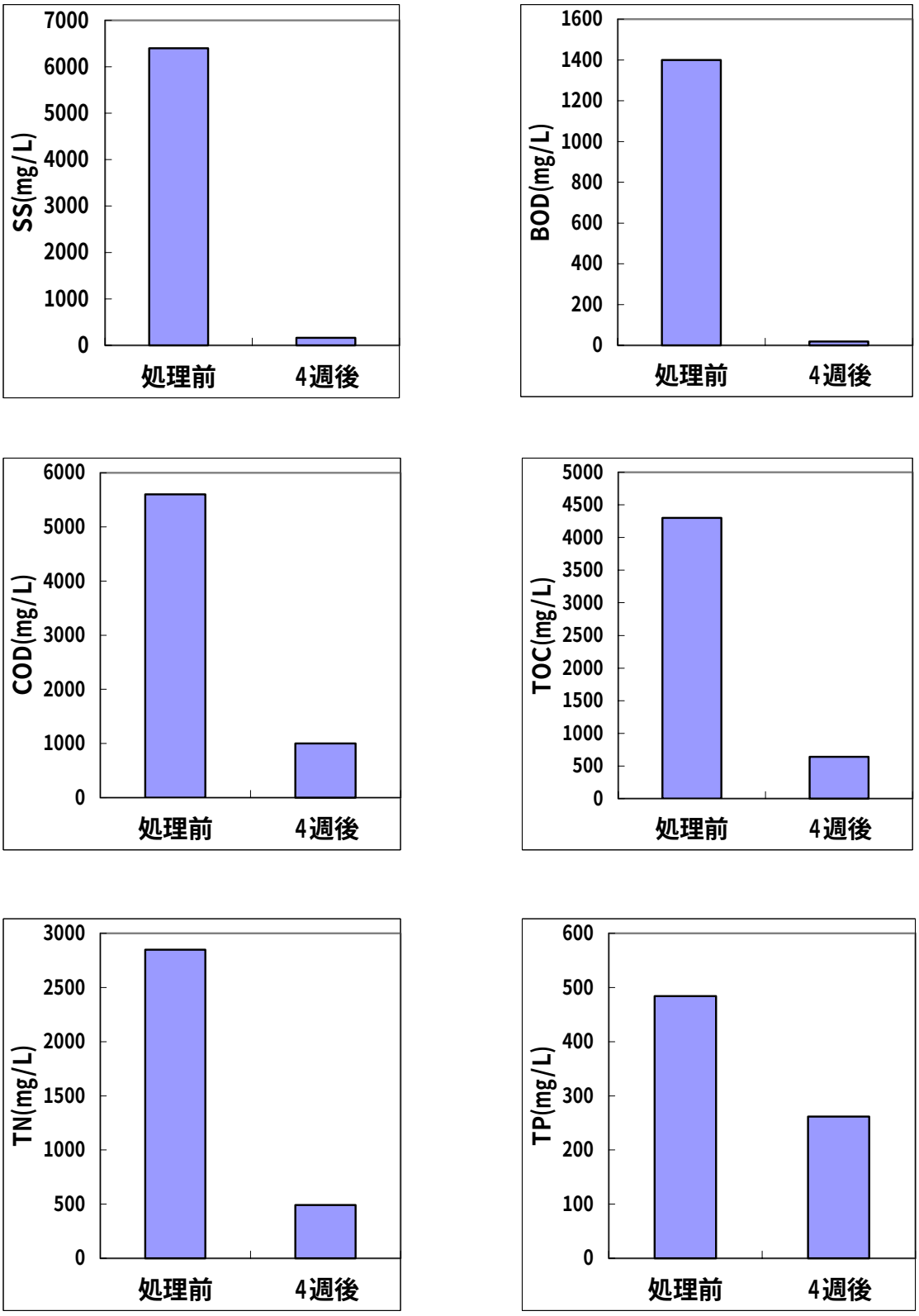


図35　ばっ気処理に伴うし尿上澄み中の汚濁成分等の経時変化（RUN5）

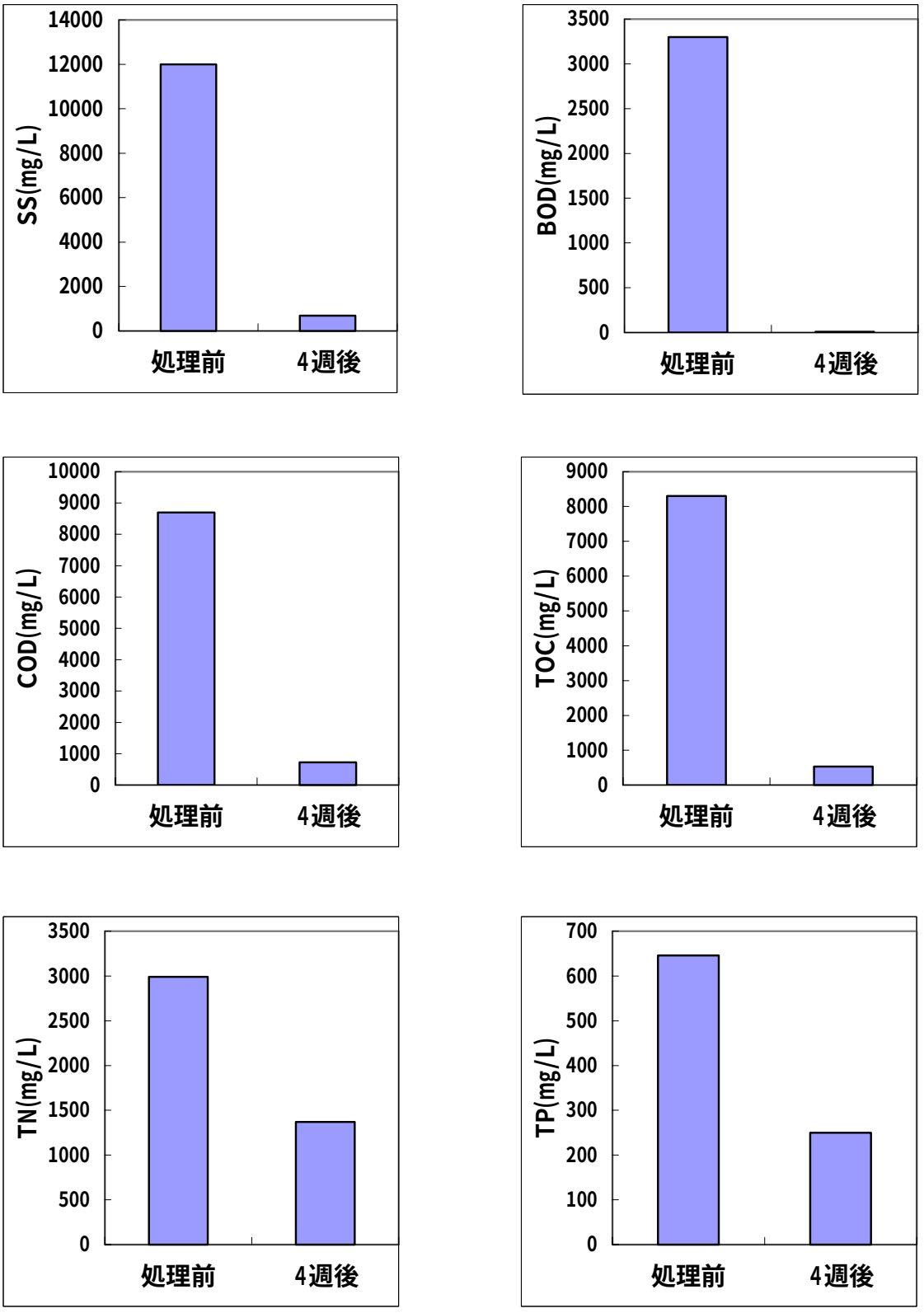


図36　ばっ気処理に伴うし尿上澄み中の汚濁成分等の経時変化（RUN6）

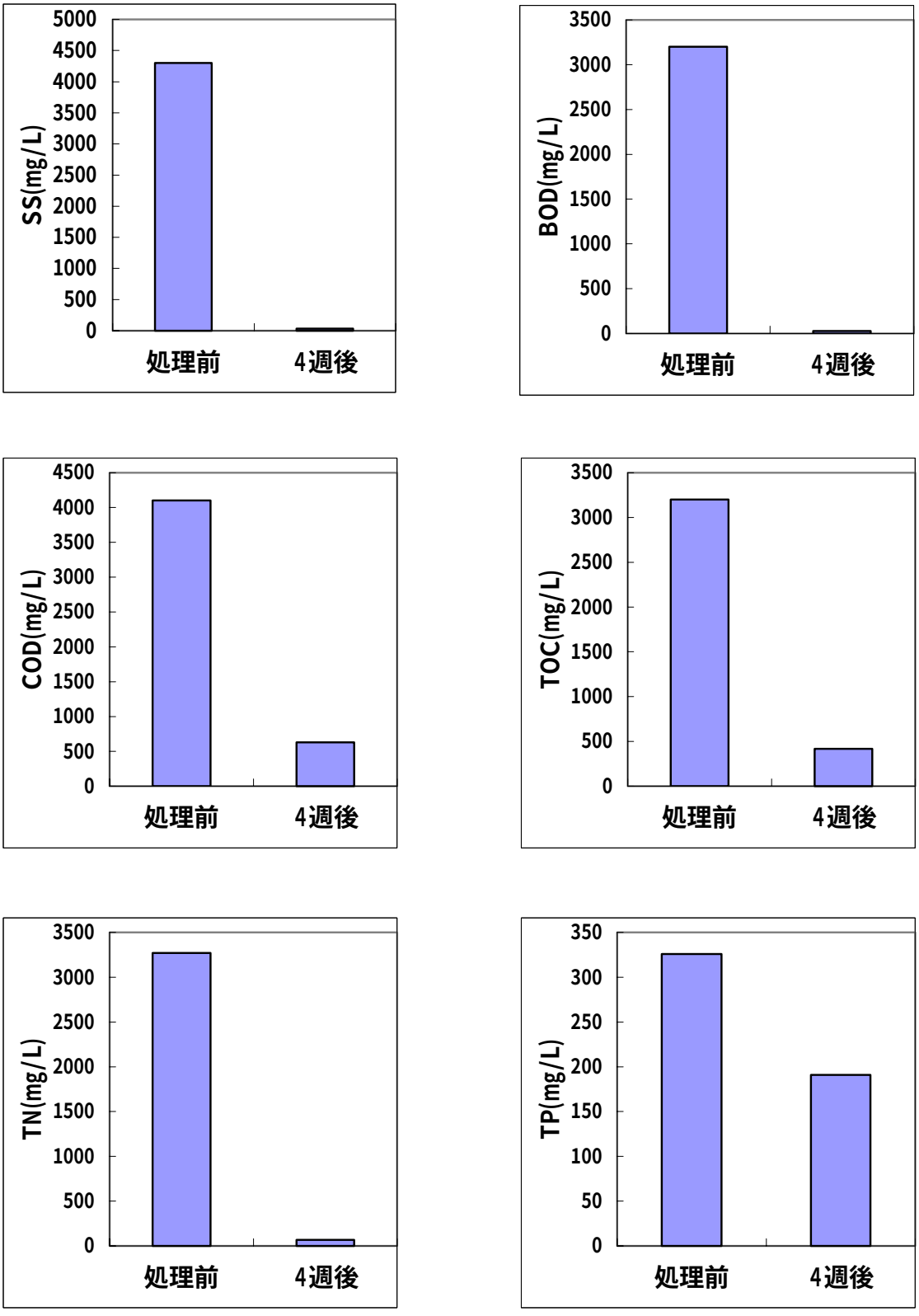


図37　ばっ気処理に伴うし尿上澄み中の汚濁成分等の経時変化（RUN7）

表１９　ばっ気処理に伴う汚濁成分等の除去率

ばっ気処理水（混合液）								
	除去率（%）							
	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN5	RUN6	RUN7	平均
SS	44	79	72	97	73	63	95	75
BOD	100	99	96	99	97	98	99	98
COD	33	58	34	77	66	69	84	60
TOC	63	82	78	77	74	70	84	75
NH_4-N	93	89	82	77	94	100	100	91
TN	76	80	60	76	83	42	97	73
TP	21	32	53	65	42	51	38	43
Cl^-	0	6	-7	13	21	18	0	7
大腸菌群数	100	100	100	99	100	100	100	100

ばっ気処理水（上澄液）								
	除去率（%）							
	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN5	RUN6	RUN7	平均
SS	99	99	100	99	98	94	99	98
BOD	100	100	99	99	99	100	99	99
COD	73	68	80	79	82	92	85	80
TOC	85	88	89	78	85	94	87	87
NH_4-N	93	89	82	77	94	100	100	91
TN	79	81	73	79	83	54	98	78
TP	35	35	80	63	46	61	41	52
Cl^-	0	-7	-7	13	21	18	0	5
大腸菌群数	100	100	100	100	100	100	100	100

注１）除去率は、処理前のし尿に対する４週後のばっ気処理水及びばっ気処理水の上澄みの除去率を示す。
注２）上澄みは、ばっ気処理水を１日静置させた後の上澄み

③SS

処理前のし尿のSSは3,200～13,000mg/Lであったが、4週後には110～4,400mg/Lに低下し、除去率は44～97%であった。またばっ気処理水のSS平均値は約2,000mg/Lで比較的高かった。ただし、上澄み液のSS平均値は約150mg/L、処理前のし尿に対する平均除去率は98%であった。

④NH_4-N、NO_2-N、NO_3-N、TN

ばっ気に伴いし尿中のNH_4-Nはいずれも減少する傾向を示し、4週後の除去率は77～100%、平均91%であった。

一方、NO_2-N及びNO_3-Nは2週目まではほとんど生成が見られなかったことから、この期間中のNH_4-Nの減少は酸化態窒素の生成によるものではないことが示唆された。

3週目以降においては、酸化態窒素の生成が見られる場合が多く、RUN2ではNO_2-Nが4週後に最高340mg/L、NO_3-Nでは33mg/Lまで増加した。しかし、NH_4-Nの減少量と酸化態窒素の生成量を比較すると、前者に比べ後者の値が著しく小さかったことから、NH_4-N の減少要因として酸化態窒素への移行以外の要因も関与していることが示唆された。

処理前のし尿に対する4週後のTN除去率は、60～97%、平均73%でNH_4-N の除去率と比べると低かった。また、処理前のし尿に対する上澄み液の除去率は73～98%、平均78%でばっ気混合液の除去率と比べると若干高かったが、顕著な差は見られなかった。

⑤TP

処理前のし尿に対するばっ気処理水のTP除去率は21～65%、平均43%でBODやTOCあるいはTNの除去率と比べるとその値は低かった。

また処理前のし尿に対する上澄み液のTP除去率は、35～80%、平均52%で若干増加する傾向を示した。

通常ばっ気処理ではTPの除去は期待できないが、一定の除去率が得られたのは、生物膜への移行及びSSの一部の沈降によるものと考えられる。

⑥大腸菌群数

処理前のし尿中の大腸菌群数は10^5～10^6個/mLオーダーであったが、4週後にはいずれも下水道や浄化槽処理水の技術上の基準値（3,000個/mL）以下に減少した。ただし、このことは必ずしもばっ気処理水中の微生物量が減少したことを示すものではなく、汚水処理に作用する他の微生物は一定量生息しているものと考えられる。

⑦ｐH

ばっ気処理水中のｐHはRUN6を除き、処理前に比べ処理後には低下するかあるいは一旦上昇した後低下する傾向が見られた。前記したとおり、処理後には多くの場合酸化態窒素が生成しており両者の関係が示唆された。

⑧EC

処理前のし尿のECは1,300～1,900mS/mであったが、4週後には590～1,000 mS/mに低下した。この結果から、ばっ気処理に伴うし尿中の各種イオンの減少が示唆された。

⑨DO

処理前のし尿のDOは1mg/L以下であったが、RUN3を除くと4週後に2.0～5.1mg/Lに増加した。

RUN3における4週後のDOが他に比べ低いのは、2基あるブロワの内1基が約1週間停止していたためと考えられる。

⑩ORP

処理前のし尿のORPは、-210～-380mV、平均-320 mVであったが、4週後には23～240mV、平均120 mVに増加した。

⑪透視度、色

処理前のし尿の透視度はいずれも1度未満、ばっ気処理水の透視度は2度以下であった。また、処理前のし尿の色は黄色であったが、ばっ気に伴い褐色に変化した。

2）ばっ気処理水の土壌浸透処理効果

4週間ばっ気処理を行った処理水及びこれをトレンチにより土壌浸透させた後、検水井から採取された浸透水のCl^-、BOD、COD、TOC、TN及びTP等の経時変化を図38～43に示す。浸透水の測定に当たっては、土壌粒子等の混入の可能性もあるため、脱脂綿にて簡易なろ過を行い、そのろ液について測定を行った。

土壌浸透に伴う汚濁成分の除去効果を評価する場合、トレンチ流入水に対する浸透水の除去効果と併せ、処理前のし尿に対する浸透水の除去効果を見ておく必要がある。そこで以下、主な項目についてこれら両者の処理効果について検討する。

本実証試験において、RUN1は2004年8月3日～8月31日までのばっ気処理と、ばっ気処理水を土壌浸透させた2004年8月31日以降の土壌浸透処理の2工程に分類される。土壌浸透処理の期間は降雨等の関係で明確には定められないが、RUN2のばっ気処理水を土壌浸透させた2004年9月30日までの間に採取された浸透水をRUN1のばっ気処理水の影響を多く受けた浸透水と仮定し、処理前のし尿及びばっ気処理水の土壌浸透に伴う処理効果について検討した。また同様にRUN2～6の処理効果についても検討した。

なお、除去率の計算に当たっては、トレンチと検水井が短絡していたP1における2004年9月14日の分析結果は異常値として除いた。異常値として除いたP1の分析値は、土壌浸透前のBOD、TN及びTPが、それぞれ3.4、1,000及び380mg/Lであったのに対し、P1ではそれぞれ130、720及び300mg/Lであった。

2004年には調査対象としたトレンチに対し、2週間間隔で交互に隣接する同様のし尿処理装置からの負荷があったので、浸透水はその影響も受けていると考えられる。

① Cl^-

トレンチ流入水に対する浸透水のCl^-除去率は91%以上であった。Cl^-は土壌中ではほとんど吸着されず、また分解も受けないので、浸透水は雨水により10倍程度に希釈されていることが示唆された。したがって、以下で述べる浸透水に

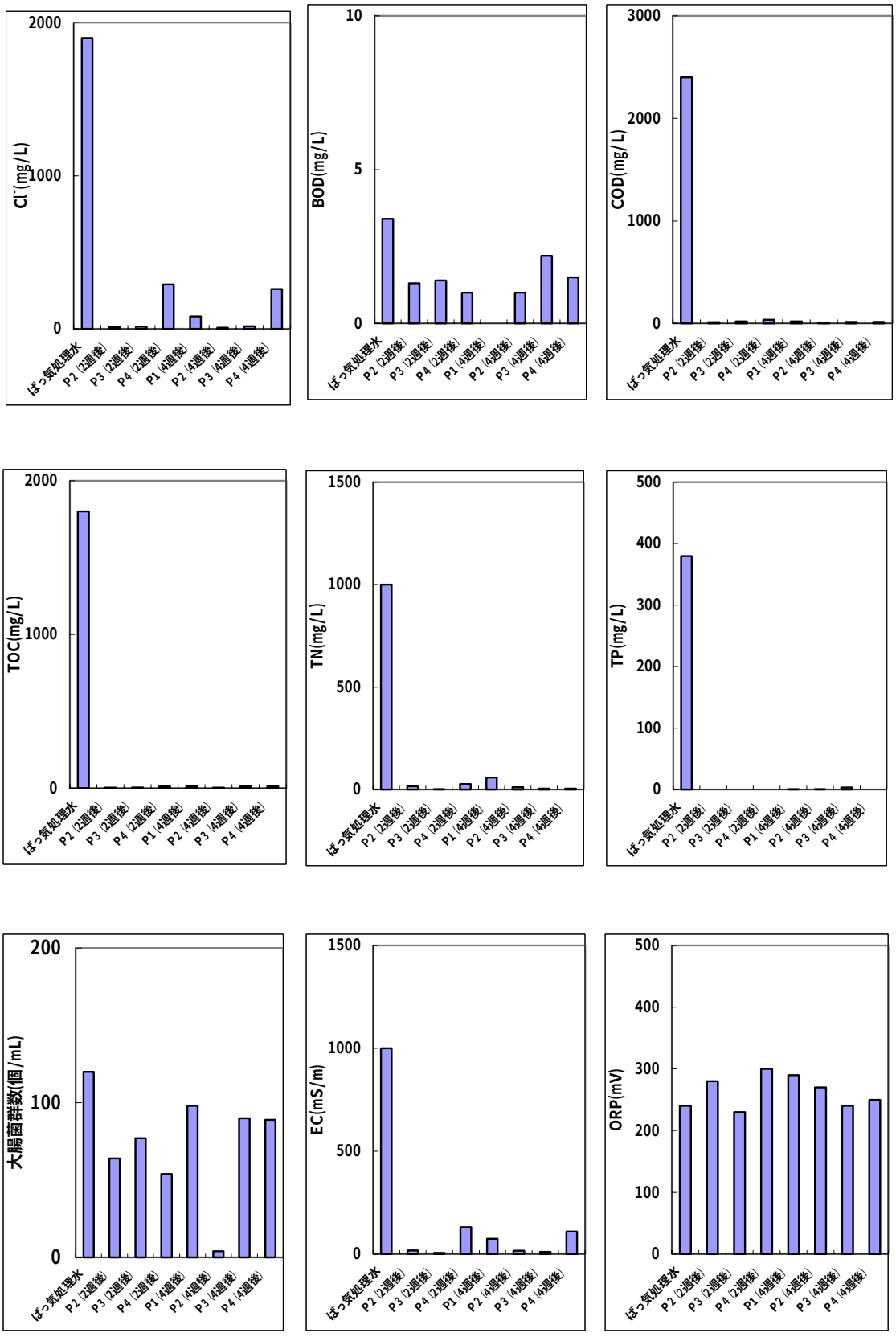


図38　ばっ気処理水の土壌浸透処理に伴う汚濁成分等の変化（RUN1）

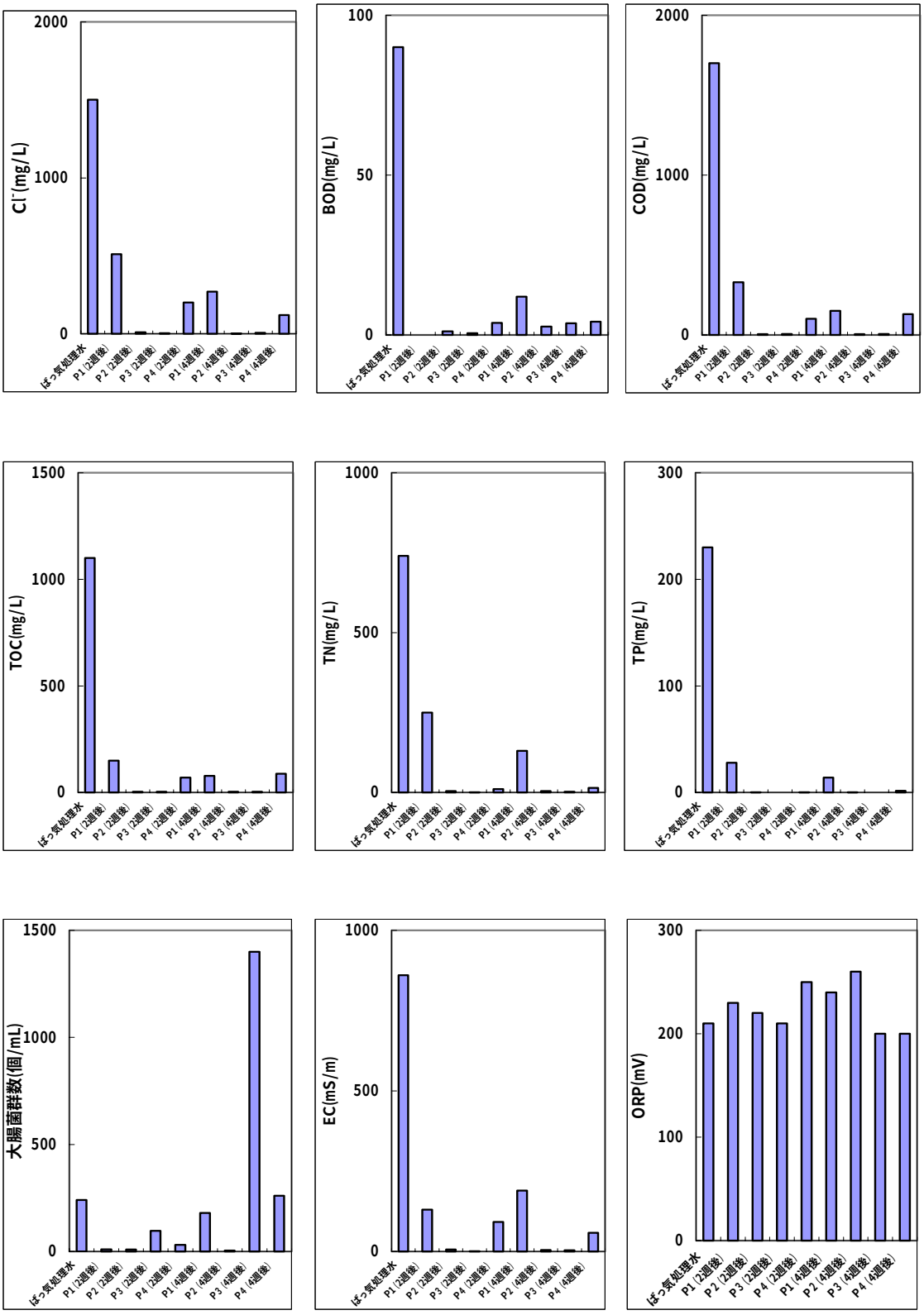


図39　ばっ気処理水の土壌浸透処理に伴う汚濁成分等の変化（RUN2）

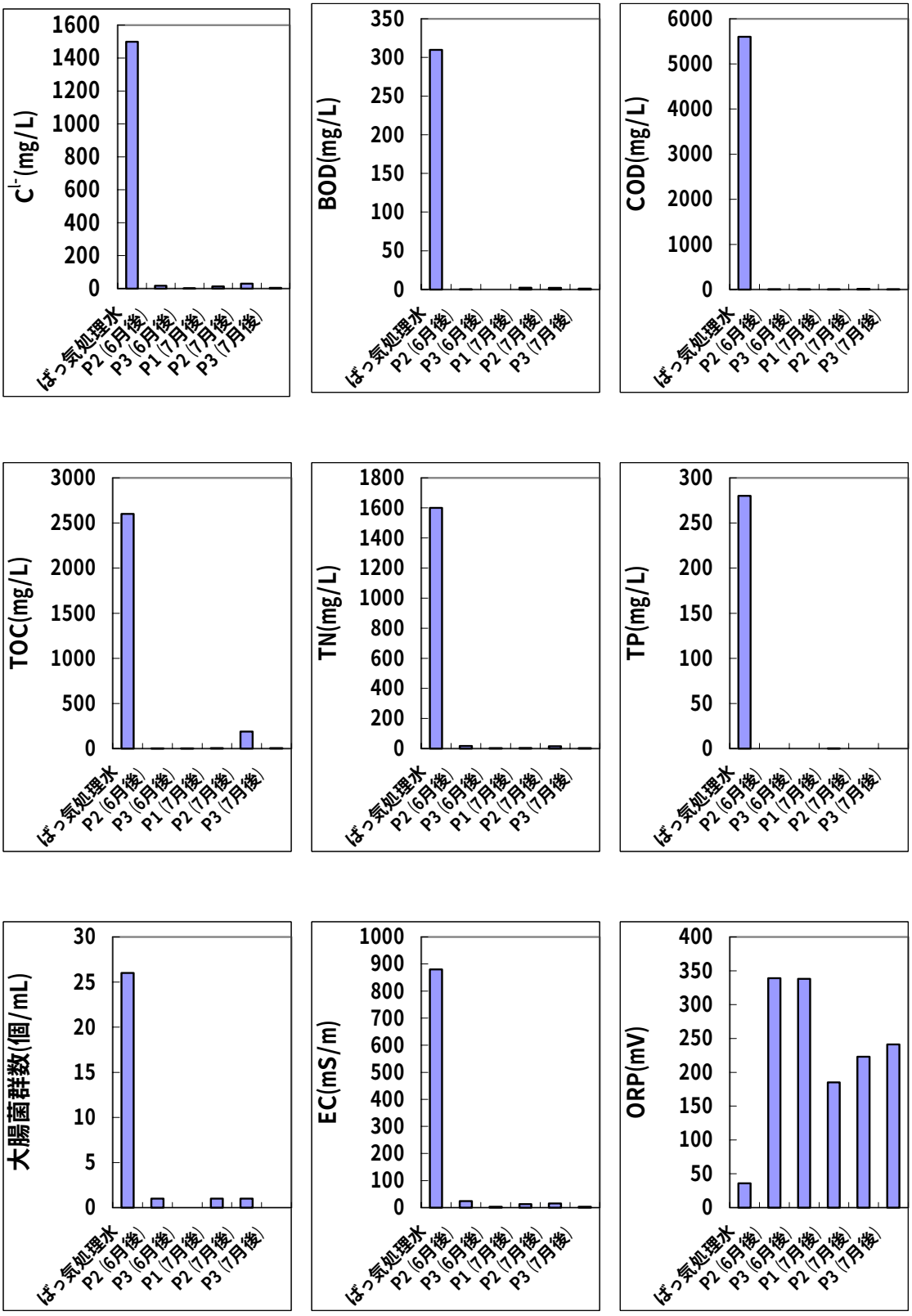


図40　ばっ気処理水の土壌浸透処理に伴う汚濁成分等の変化（RUN3）

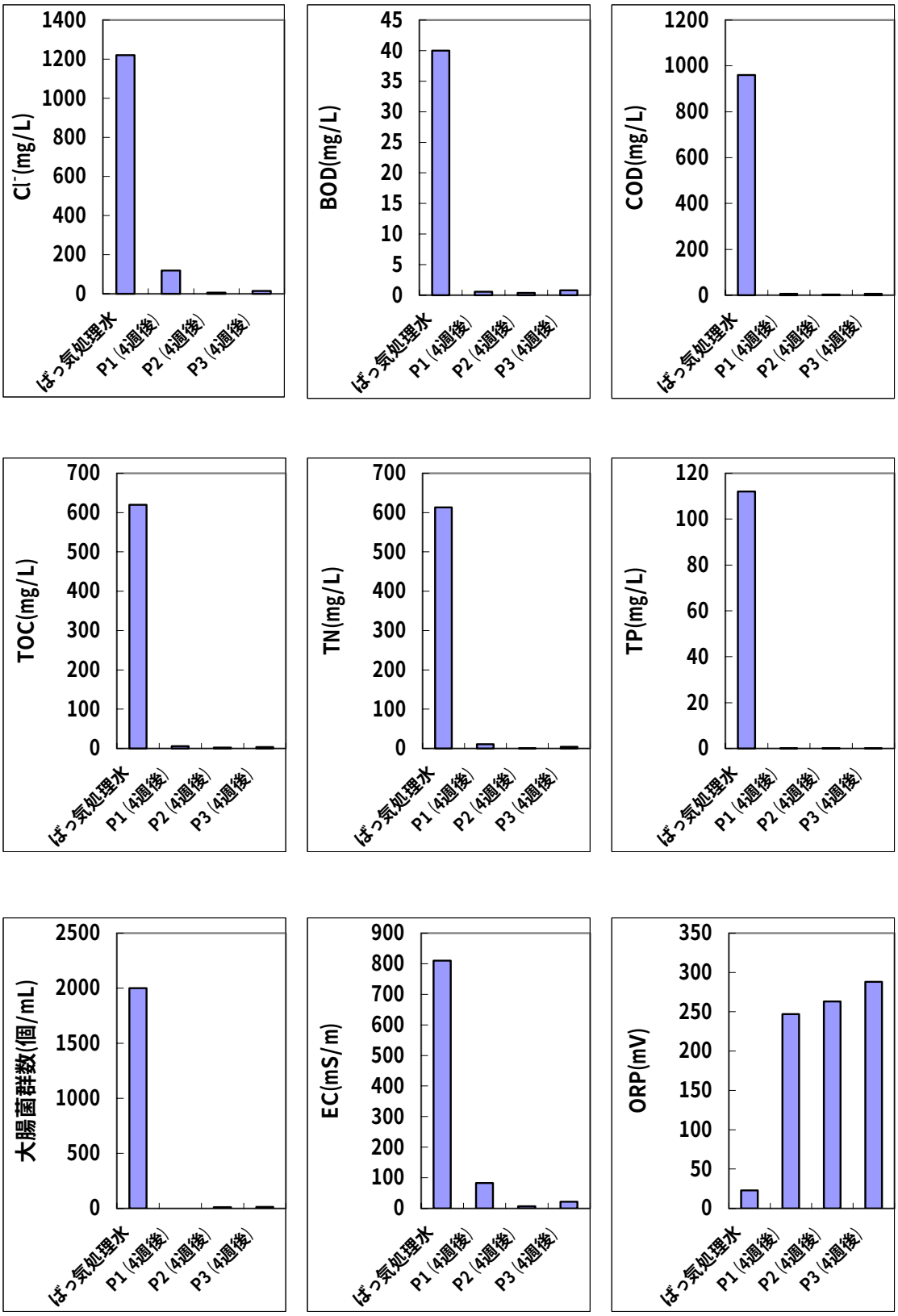


図41　ばっ気処理水の土壌浸透処理に伴う汚濁成分等の変化（RUN4）

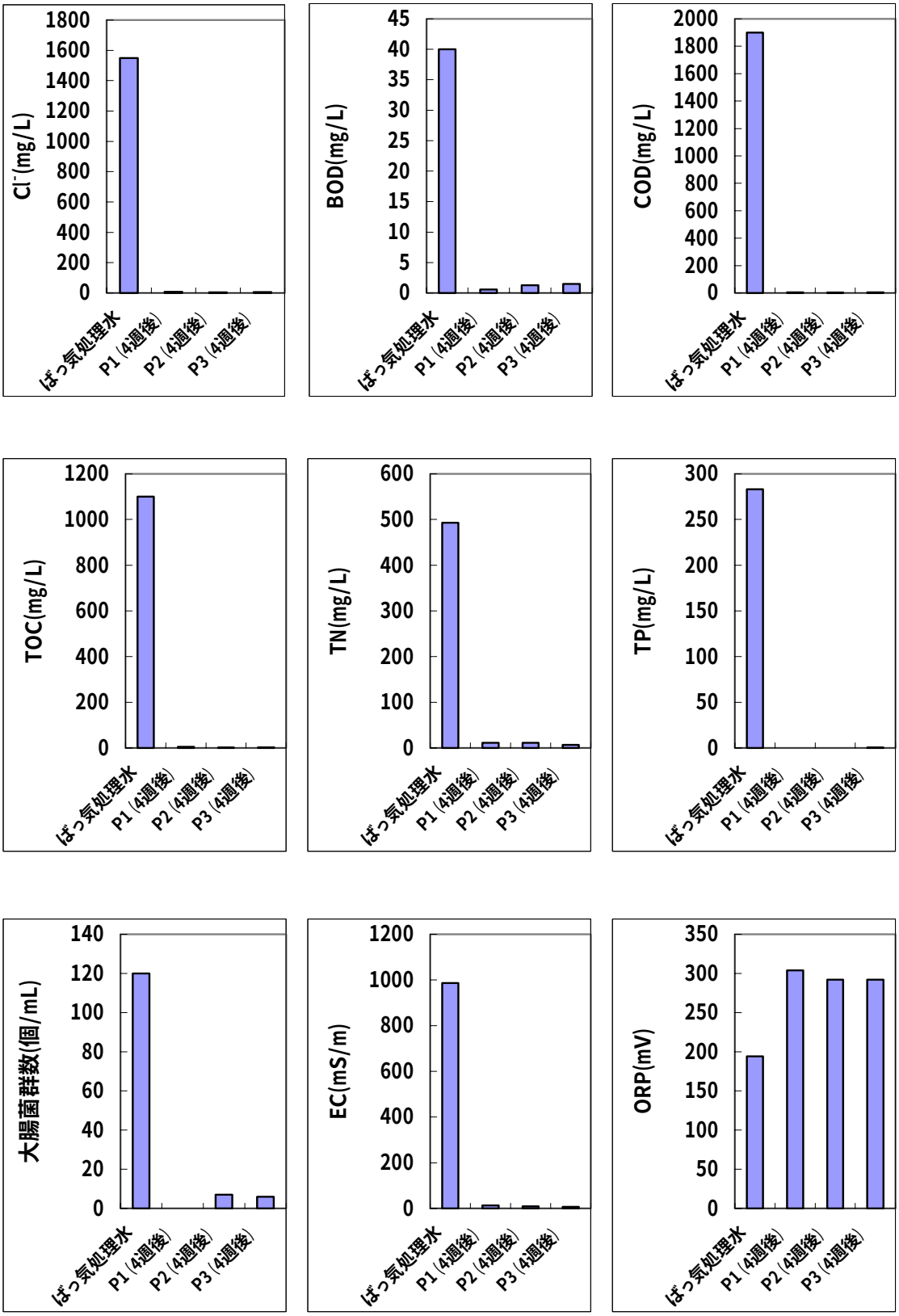


図42　ばっ気処理水の土壌浸透処理に伴う汚濁成分等の変化（RUN5）

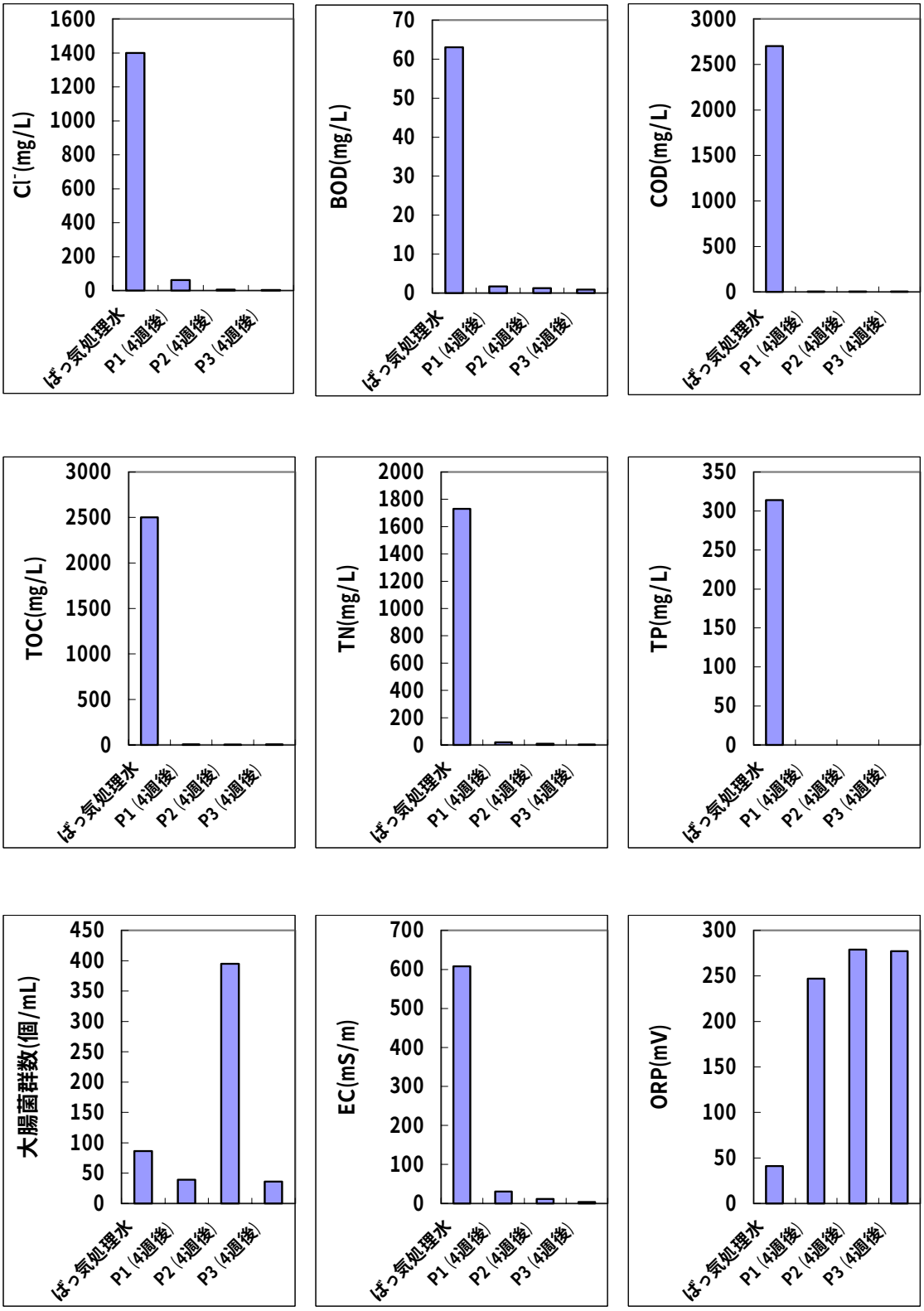


図43　ばっ気処理水の土壌浸透処理に伴う汚濁成分等の変化（RUN6）

おける各成分の除去率は、雨水による希釈を含めた見かけ上の除去率を示したものである。

②BOD、COD、TOC

図38に示したとおり、RUN1即ち、2004年8月31日にトレンチに流入させたばっ気処理水に対する、2週後（9月14日）及び4週後（9月30日)に採取した浸透水におけるBOD除去率は35～100%、平均65%であった。なお、処理前のし尿に対する除去率はいずれも99%以上で、実証申請者が保障している処理性能（土壌浸透まで含めたBOD除去率99%）は確保されていた。

図39に示したとおり、RUN2即ち、2004年9月30日にトレンチに流入させたばっ気処理水に対する、2週後（10月12日)及び4週後（10月31日）に採取した浸透水におけるBOD除去率は、87～100%、平均96%であった。なお、処理前のし尿に対する除去率はいずれも99%以上で、実証申請者が保障している処理性能はRUN1の場合と同様確保されていた。

図40にRUN3即ち、2004年10月31日にトレンチに流入させたばっ気処理水及び2005年5月に採取した浸透水の調査結果を示す。ばっ気処理水を土壌浸透させた後6か月以上経過しているため、土壌浸透に伴う除去効果について正確な評価はできないが、浸透水のBODは2.6mg/L以下、土壌浸透前のばっ気処理水と比較した見かけ上のBOD除去率は99%以上であった。なお、処理前のし尿と比較したBOD除去率はほぼ100%であった。

図41にRUN4即ち、2005年5月31日にトレンチに流入させたばっ気処理水及び2005年6月に採取した浸透水の調査結果を示す。浸透水のBODは1mg/L以下、土壌浸透前のばっ気処理水と比較した見かけ上のBOD除去率は98%以上であった。なお、処理前のし尿と比較したBOD除去率は99%以上であった。

図42にRUN5即ち、2005年6月28日にトレンチに流入させたばっ気処理水及び2005年7月に採取した浸透水の調査結果を示す。浸透水のBODは1.5mg/L以下、土壌浸透前のばっ気処理水と比較した見かけ上のBOD除去率は96%以上であった。なお、処理前のし尿と比較したBOD除去率は99%以上であった。

図43にRUN6即ち、2005年7月26日にトレンチに流入させたばっ気処理水及び2005年8月23日に採取した浸透水の調査結果を示す。浸透水のBODは1.7mg/L以下、土壌浸透前のばっ気処理水と比較した見かけ上のBOD除去率は97%以上であった。なお、処理前のし尿と比較したBOD除去率は99%以上であった。

トレンチ流入水に対する浸透水のCOD及びTOC除去率は、トレンチが短絡していたT1を除き何れも81及び86%以上であった。

また、処理前のし尿に対する浸透水のCOD及びTOC除去率は92及び98%以上であった。

④ TN

トレンチに流入させたばっ気処理水に対する、浸透水のTN除去率は66%以上、また処理前のし尿に対する、浸透水のTN除去率は93%以上であった。

⑤ TP

トレンチに流入させたばっ気処理水に対する浸透水のTP除去率は88以上、また処理前のし尿に対する浸透水のTP除去率は92以上であった。TPはばっ気処理ではほとんど除去されなかったが、土壌浸透により90%以上除去された。浸透水における見かけ上の除去効果には、他の成分と同様雨水による希釈もあるが、TPの場合は希釈以外に土壌中のアルミニュームや鉄等への吸着も少なくないと考えられる。

⑤大腸菌群数

土壌浸透前のばっ気処理水及び浸透水の大腸菌群数を比較すると、RUN3～5のように土壌浸透に伴い減少する場合もあったが、RUN1の様に顕著な変化がない場合、あるいはRUN2及び6の様に逆に増加する場合も見られた。土壌カラムを用いた生活排水の土壌浸透に関する室内実験結果では、土壌浸透等に伴い大腸菌群数は著しく減少するとの報告がある[20)]。

本調査において、土壌浸透後に大腸菌群数が増加する原因として、浸透水が検水井の中で一定時間滞留する間に、ここで増殖したことも考えられる。

⑥ｐH

図には示されていないが、土壌浸透前のばっ気処理水のｐHは6.4～8.6であったが、各RUNにおける浸透水の平均では4.3～5.4に低下した。土壌浸透に伴いｐHが低下するのは、土壌中に生息する硝化細菌の作用によるものと考えられる。

⑦EC

土壌浸透前のばっ気処理水のECは610～1,000mS/mであったが、各RUNにおける浸透水の平均では9.9～61mS/mに低下した。土壌浸透に伴いECが低下するのは、雨水による希釈の他に土壌への各種イオンの吸着も寄与しているものと考えられる。

⑧DO

土壌浸透前のばっ気処理水のDOはRUN3を除くと2.0～5.1mg/Lであったが、各RUNにおける浸透水の平均では4.3～7.8mg/Lに増加し、全体としては土壌浸透によりDOは増加する傾向を示した。

⑨ORP

土壌浸透前のばっ気処理水のORPは23～240mVであったが、各RUNにおける浸透水の平均は230～300mVで、全体としては土壌浸透によりORPは増加する傾向を示した。

⑩色及び透視度

ばっ気処理水の透視度は2度以下、色は褐色であったが、浸透水においては2004年10月12日及び10月31日に採取されたP1及びP4では褐色、その他は無色澄明であった。

3)越冬に伴う汚濁成分等の変化

図27に示したとおり、ばっ気槽内に滞留していた処理水の越冬前のSSは2,600mg/Lであったが、越冬後は490mg/Lに低下し除去率は81%であった。

同様に越冬前のBOD、COD及びTOCは、それぞれ240、3,200及び1,700mg/Lであったが、越冬後はそれぞれ140、1,400及び1,000mg/Lに低下し、除去率はそれぞれ42、56及び41%であった。

越冬前のNH_4-N、NO_2-N及びTNは、それぞれ1,000、90及び1,600mg/Lであったが、越冬後はそれぞれ1,100、0.26及び1,300mg/Lで、NH_4-Nはほとんど変化なかったが、NO_2-Nはほぼ完全に除去された。また、TNは19%が除去された。

5-5-2　まとめ

本処理装置に関し、実証申請者が保障している処理性能は、処理前のし尿に対するばっ気処理後のBOD除去率95%、また土壌浸透を含めたBOD除去率は99%である。今回実施した実証調査結果においては、ばっ気処理後のBOD除去率が、それぞれ96～99%、また土壌浸透後のBOD除去率が何れも99%以上であった。これらの結果から、実証申請者が保障している処理性能は何れも確保されていることが確認された。

図44はRUN１～7で実施した処理前のし尿、ばっ気処理水及び浸透水の総平均の変化を示したものである。総平均からみた処理前のし尿のSS、BOD、TOC、TN、TP及びCl^-は、それぞれ7,000、4,300、5,900、3,400、460及び1,600mg/Lであったが、ばっ気処理後にはそれぞれ2,000、82、1,500、890、260及び1,500mg/Lに減少した。また土壌浸透後のBOD、TOC、TN、TP及びCl^-は、それぞれ1.9、24、23、1.7及び72mg/Lであった。なお、浸透水のSSは、これを分析前に脱脂綿でろ過しているため未測定である。

5-6　トイレの維持管理

調査期間中に便器の清掃に使用した洗浄剤名及び洗浄水量並びに使用したトイレットペーパーの量を表20に示す。洗浄水量の合計は1日約10Lであったので、平常期における1日当たりの平均トイレ利用者数を60人、し尿の原単位を1L／（人・日）とすると、トイレ洗浄水により10%以上希釈されたことになる。

洗浄剤の使用量は山荘全体で8月に約10本／月、その他は2～3本／月であった。なお、トイレの洗浄及びトイレットペーパーの交換は一時を除きほぼ毎日行われていた。

洗浄剤は便槽内に流入し、し尿と共に処理槽内に投入されたと考えられるが、実証申請者が保証した処理性能は確保されていたので、生物処理にはそれほど大きな支障はなかったと考えられる。

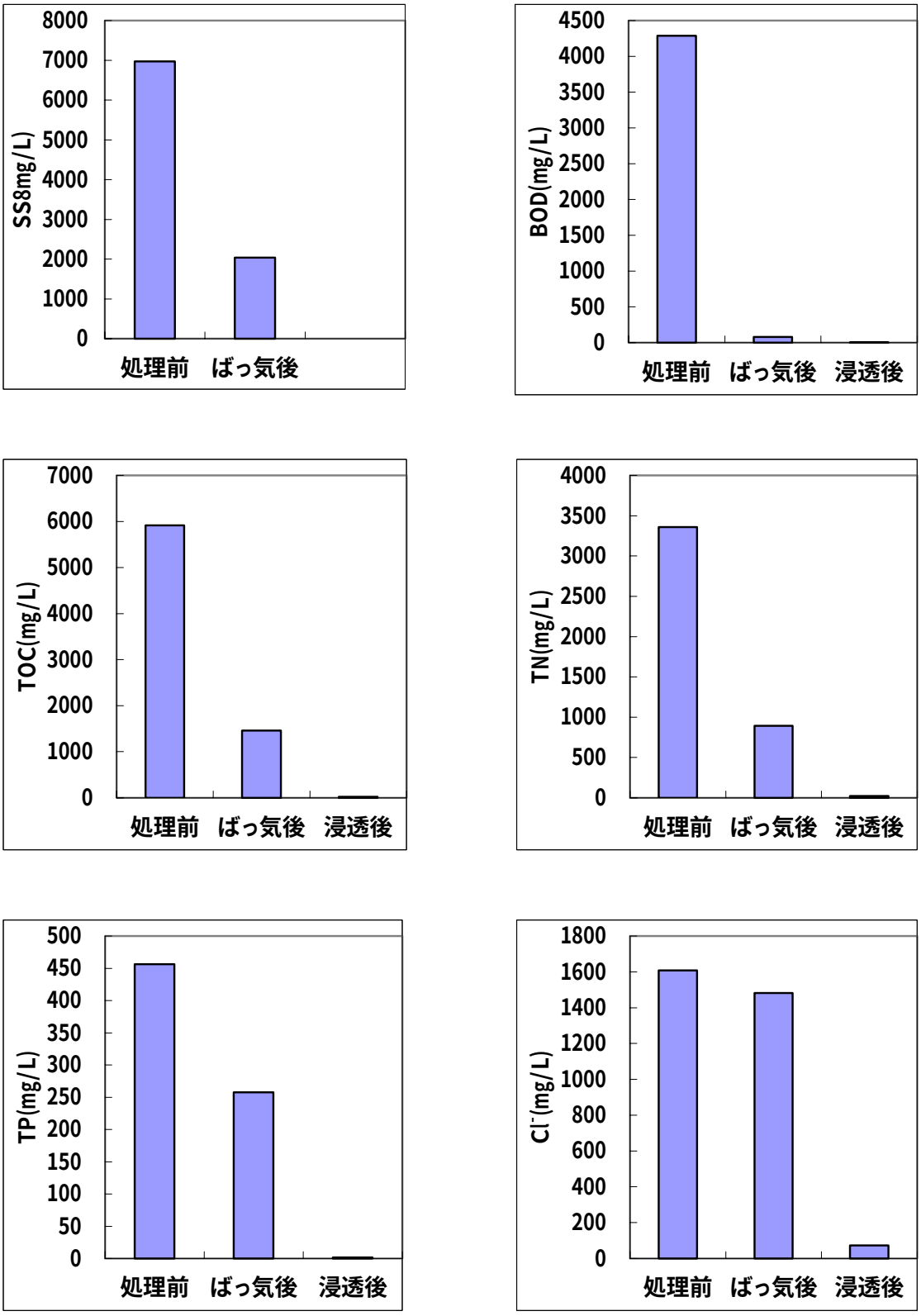


図44　処理前し尿、ばっ気処理水及び浸透水の平均値の変化

表20　トイレの維持管理状況

便器	使用洗剤名	洗浄水量	
女子便器	トイレマジックリン	最大	10 L／日
		最小	0 L／日
		平均	4.3 L／日
男子便器	トイレマジックリン	最大	12 L／日
		最小	0 L／日
		平均	4.7 L／日
トイレットペーパー交換量		最大	25 巻／日
		最小	0 巻／日
		平均	6 巻／日

5-7　試験結果の考察及びまとめ

5-7-1　ばっ気処理

①BOD、COD、TOC

本処理装置における処理前のし尿に対するばっ気処理後（1か月間）のBOD除去率は95%以上、またその処理水を土壌浸透させた後の浸透水のBOD除去率は99%以上であったが、BODと同様主に汚水中に含まれる有機炭素成分の指標であるCOD及びTOC除去率は、それぞれ33～84%及び63～84%で、BODに比べるとその除去率は低かった。その原因は、微生物による分解が困難な難分解性有機物が残留しているためと考えられる。

一方、処理前のし尿に対するばっ気処理水の上澄み液のCOD、TOC除去率はこれらを上回るので、ばっ気処理水を1日静置させることにより、より高い処理効果が期待できる。ただし、その際はばっ気槽内に蓄積してゆく汚泥の処分法についても検討が必要と考えられる。

②窒素

処理前のし尿中に含まれる窒素の大半は、NH_4-N及び有機態窒素であったが、NH_4-Nはばっ気処理に伴い減少した。NH_4-Nが減少する原因として、NH_3の揮散及びNO_2-NあるいはNO_3-Nへの酸化が考えられる。しかし、ばっ気処理の前半期には酸化態窒素がほとんど生成されてこないことから、この間のNH_4-Nの減少はNH_3の揮散によるものと考えられる。このことは、ばっ気処理開始後1～2週間目の排気

中に200～1,000ppmのNH_3が含まれていたこと、及びばっ気処理の前半期におけるpHが、8～9付近で、NH_3が揮散し易い条件にあったことも原因の一つと考えられる。

酸化態窒素はばっ気処理の前半期にはほとんど生成されなかったが、後半期に生成が見られた。これは、ばっ気処理水中に充分な硝化菌が存在しない場合、窒素系BOD(以下、NBODと略記する)成分に比べ、炭素系BOD(以下、CBODと略記する)成分の分解が優先的に進行し易いためと考えられる[21]。

4週後におけるNO_2-N及びNO_3-Nの濃度を比較すると、例えばRUN1ではNO_2-Nが約300mg/Lであったのに対し、NO_3-Nは20mg/Lと1/10以下であった。このような傾向はRUN2～3においても同様に見られた。NH_4-NのNO_3-Nへの酸化は、

$$NH_3 + (3/2)\ O_2 \rightarrow HNO_2 + H_2O$$
$$HNO_2 + (1/2)O_2 \rightarrow HNO_3$$

の2つの工程を経て進行し、前者では*Nitrosomonas*が、また後者では*Nitrobacter*が関与しているが、*Nitrobacter*の増殖速度は*Nitrosomonas*の増殖速度と比べ著しく大きい[22]。そのため、通常はNO_3-Nに比べNO_2-Nの蓄積はそれほど顕著ではないと考えられる。しかし、本調査においては、前記したとおりいずれもNO_3-Nに比べNO_2-Nが著しく高かった。この原因は、ばっ気処理水中のNH_4-NやNO_2-N濃度が比較的高いため、硝化が抑制されたためと考えられる[23]。

TNが減少する原因として、NH_3の揮散以外にN_2としての脱窒素も考えられる。しかし、本装置の場合酸化態窒素の生成後、全体として還元的な条件にはなっていないこと、及び酸化態窒の生成後は生物学的脱窒素反応に必要な水素供与体が処理水中に少なくなっていること等から、生物学的脱窒素反応はTNが減少する主要因ではないと考えられる。

③TP

ばっ気処理によるTPの除去率がBODや窒素と比べ低いのは、窒素やBOD成分の大半が、ばっ気によりそれぞれNH_3やCO_2等として大気中に揮散するのに対し、りんは大気中への揮散等により系外に排出されることがないためと考えられる。

④大腸菌群数

ばっ気処理に伴い大腸菌群数が減少するのは、ばっ気処理槽中の諸条件が大腸菌群の生息に適切でないためと考えられる。ばっ気処理後の大腸菌群数は3,000個/mL以下で、下水道や浄化槽放流水の技術上の基準を下回っていた。しかし、このことは細菌類が生息していないことを示すものではなく、汚水浄化に作用する他の微生物等は多数生息しているものと考えられる。

⑤ｐH、ORP、DO

pHがばっ気処理前半期に上昇するのは、有機態窒素が分解しNH_4-Nが生成されるためであり、ばっ気の継続に伴い低下するのは、NH_4-Nの一部がNO_2-NやNO_3-Nに酸化され、H^+が放出されるためと考えられる。

DO及びORPがばっ気の継続に従って増加するのは、ばっ気により空気中の酸素が供給されるためである。

⑥透視度、色

ばっ気処理に伴いBODは95%除去されるにも拘わらず透視度が2度以下である理由は、汚泥や難分解性のSSが混入しているためと考えられる。

また、ばっ気に伴い色が褐色になるのは、胆汁色素の主成分であるビリルビンが、ステルコビリンやウロビリンに酸化されるためと考えられる[24)]。

5-7-2　土壌浸透処理

①Cl^-

浸透水のCl^-がトレンチ流入水のCl^-と比べ著しく低い主な理由として雨水による希釈が考えられる。その試算結果は以下のとおりである。即ち、トレンチ1m当たりの浸透面積を両側1m^{2}ずつ合計2m^{2}とすると[25)]、トレンチ（総延長39m）に対する流入水の負荷水量が約50L/(m・月)であるので、浸透面積全体では平均25mmの負荷水量となる。一方、調査期間中の日平均降水量は9.9mm/日であったので、1か月間の積算降水量は約300mm/月となる。したがって、トレンチから土壌中に浸透したばっ気処理水は、雨水により約10倍に希釈されることになる。なお、2004年には、隣接する別のし尿処理施設からの負荷もあったので、希釈率は10倍以下になると推察される。

②BOD、COD、TOC

土壌浸透によりBOD、COD及びTOCが除去されるのは、土壌の自然浄化能力の内主に物理的、生物学的浄化作用によるものと考えられる。物理的浄化作用の主なものは、ばっ気処理水中に含まれていたSSの土壌粒子によるろ過作用があげられる。ろ過されたSSはトレンチの底部に蓄積されていくため、長期間使用した場合目詰まりを起こし、速やかな浸透が妨げられることも懸念される。当施設のトレンチは10年以上経過しているが、現在のところトレンチからの溢水は見られていない。その原因としては、15年度まで①トレンチへの負荷水量が50L/(m･月)と少なかったこと、②毎年11月上旬～4月下旬の約6か月間山小屋が営業を停止しており、この間トレンチへの負荷が全くなく、トレンチ内に蓄積されたSSの一部が分解されること等が考えられる。

生物学的浄化作用の主なものは、土壌中に生息している多数の微生物による汚濁成分の分解である。トレンチより地中に浸透したばっ気処理水は、負荷水量が少ないため、直接検水井へ浸透水として浸出せず、一旦土壌の空隙に保留されたのち、雨水の浸透に伴い徐々に下層に移行すると考えられる。土壌の空

隙に保留されている間は、土壌粒子表面に多数生息している微生物の作用によりばっ気処理水中に残留していた汚濁成分が分解されると考えられる。

③窒素

土壌浸透前のばっ気処理水中に含まれる窒素としては、NH_4-N、NO_2-N、NO_3-N及び有機態窒素（ON）がある。この内SSに含まれるONは、BOD等と同様に土壌のろ過作用により除去される。NH_4-N は NH_4^+ として存在するため、全体として負に帯電した土壌粒子表面に吸着され易く、一旦は汚水中から除去される。しかし、吸着された後は土壌中に生息する*Nitrosomonas*によりNO_2-Nに、またNO_2-Nは*Nitrobacter*によりNO_3-Nに酸化される[21)]。これらは陰イオンのため土壌に吸着されにくく、また水にも溶けやすいため土壌から溶脱し、浸透水中に混入する。そのため、土壌浸透に伴う窒素の除去率は一般的に50%以下と低いのが特徴である[26)-27)]。

NO_2-NやNO_3-Nは、一般に還元的条件化で適当な水素供与体が存在する場合、土壌中の脱窒素菌の作用により窒素ガスに還元され汚水中から除去されるが、当施設の場合適切な水素供与体が存在しないこと、及び還元的条件下にないことから、ほとんど生物学的脱窒素反応は進行しないと考えられる。

そのこともあって、浸透水中のTNに占めるNO_3-N の割合は平均46%と高かった。NO_3-Nはこれを多量に含む水を飲用した場合、メトヘモグロビン血症を引き起こすこともあるため、飲料水や地下水の環境基準項目にも含まれている。したがって、今後はその除去対策についても考えてゆく必要がある。

④TP

TPとして測定されるりんはばっ気処理ではほとんど除去できないが、土壌浸透すると効率的に除去できる。その原因の一つは、BODや窒素と同様SSのろ過作用等物理的な浄化作用によるものもあるが、それ以外に化学的な浄化作用によるものが大きなウエイトを占める。即ち、汚水中に含まれているりんは、土壌中に含まれているアルミニウムや鉄、カルシウム等と化学的に結合し塩を生成する[28)]。これらの塩はほとんど水に不溶なため、結果的に汚水からりんが除去されることになる。土壌へのりんの吸着能には土壌の種類により一定の限界があり、吸着能が飽和すると除去は困難になるが、その場合より下層の土壌にりんが吸着されるようになるため、比較的長期間りんの浄化能力は維持されると考えられる。当施設の場合10年以上を経過しても見かけ上高い除去能力を維持している。

⑤大腸菌群数

5-5-1項の⑤で述べたとおり、ばっ気処理に伴い処理水中の大腸菌群数は急激に減少した。また多量の大腸菌群を含む汚水を土壌浸透させると効率的に除去できることが知られている。当施設の場合、土壌浸透前のばっ気処理水中の大腸菌群数と浸透水中の大腸菌群数を比較した場合、前者に比べ後者の方が多く

なる場合も見られた。この原因は、土壌浸透前のばっ気処理水中にはほとんど大腸菌群が含まれていないこと、土壌浸透により土壌中の大腸菌群の一部が溶脱されたこと、検水井に貯留されていた浸透水中で大腸菌群が増加した等が考えられる。

5-7-3　越冬に伴う汚濁成分等の変化

越冬期間中は加温、ばっ気を行っていないので、ばっ気槽内は自然条件下で嫌気状態になっていると考えられる。約6か月の越冬期間中に、SSは約80%減少したが、これは嫌気分解によるものと考えられる。

またBOD、COD、TOCが減少していることから、有機物の一部がCH_4等に分解されたことも推察される。

越冬前に90mg/LあったNO_2-Nは、越冬後にほとんどがなくなっていた。これは生物学的脱窒素によるものと考えられる。

6．　本装置導入に向けた留意点

6-1　設置条件に関する留意点

6-1-1　自然条件からの留意点

①気象

本装置では、ばっ気槽内に加温装置が付置されているため、気温の低下に伴う生物処理能力の低下に関しては一定の対応策が図られている。しかし、1日20～30ｋWhの消費電力量が必要とされるため、その確保が必要となる。また、ばっ気槽から周囲の土壌への熱の散逸があるため、保温を充分に行うよう留意が必要である。

地温の調査結果から見ると、実証施設が設置された地点では、厳冬期において地表付近で-0.5℃となったが、深さ50cm以深では0℃を下回ることはなかった。したがって、実証対象施設のトレンチに関しては凍結がなかったと考えられる。この原因の一つとして、積雪による保温効果もあると考えられるが、場所によっては土壌の凍結も考えられるため、設置に当たっては予め年間を通じた地温の経時変化等基礎デ-タを収集する必要がある。

②立地

本装置は、ばっ気槽及びトレンチより構成されているため、設置に当たってはこれらの搬送が必要である。車道が整備されている山小屋では車による輸送が可能であるが、車道の利用が困難な山小屋では、ヘリコプター－による輸送が必要となる。実証申請者は、これまで5m^{3}のばっ気槽を2基標高2,500mまで搬送した実績がある。トレンチに関しては、散水管、接触材等の搬送が必要となるが、これらはいずれも軽量であるためため、特別な事情がない限りヘリコプター－輸送は可能と考えられる。

③地形・地質

ばっ気槽は平らな地点に設置する必要があるため、少なくともその容量分の平らなスペースが必要である。当施設のトレンチは、ばっ気処理水50Lについて2㎡の面積を確保している。トレンチは可能な限り平らな場所に設置することが望ましいが、やむを得ず斜面を利用する場合は、地すべり、崩落等の回避について充分対策を講ずる必要がある。

またばっ気槽は、可能な限り地下に埋設することが望ましく、トレンチは地下埋設が基本である。したがって、本装置の場合岩場、ガレ場等への設置は比較的困難と考えられる。

6-1-2　社会条件からの留意点

①処理性能からみた他の処理方式との比較

本装置は、低地で通常利用されている下水道や浄化槽、あるいは廃棄物の処理及び清掃に関する法律で定められているし尿処理施設が利用し難い山岳地域で利用可能な、新しいし尿処理装置の一つとして位置づけられる。本装置の処理性能を判断するひとつの基準として、上記した下水道、浄化槽、し尿処理施設の処理性能に関する技術上の基準との比較が考えられる。

廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行規則に定められているし尿処理施設の技術上の基準は、放流水のBOD及びSSが、それぞれ20及び70mg/L以下、大腸菌群数が3,000個/mL以下とされている。

また、下水道法施行令に定められている放流水の水質の技術上の基準は、ｐH5.8～8.6、BODは処理方法別に20～150mg/L以下、SSは同様に70～200mg/L以下、大腸菌群数3,000個/mL以下となっている。

平成7年建設省告示2094号に定められている合併処理浄化槽では、放流水のBODが告示の区分により10～60mg/L以下、その除去率が70～95%以上とされている。

これに対し本装置の浸透水では、調査期間中のBODの最小、最大、平均がそれぞれ0.5、12及び1.9mg/L、除去率が雨水による希釈を含め99%以上であった。また大腸菌群数は、何れも3,000個/mL以下であった。

以上のとおり、本装置をし尿が未処理のまま排出されている地域に設置した場合、山岳環境への少なくない汚濁負荷削減効果が期待できる。そのため、水質汚濁防止法や建築基準法施行令との関係等を含め、多面的な検討を進める必要があると考えられる。

② 利用者数・利用形態

本装置は、便槽に貯まったし尿を抜き取りバッチ式で処理するため、利用者数、利用形態の変動影響はほとんど受けない。営業期間中に利用者の排出するし尿を全て貯留できる便槽があること、営業期間中に1回/月の処理頻度で、基本的にその年の営業期間中排出されるし尿を全て処理できるばっ気槽及びトレンチが確保されていることが必要である。

6-1-3　インフラ整備条件からの留意点

①水・電気の確保

本装置は、し尿を無希釈のまま直接処理することを目的としたものであるので、処理に当たって水の利用はほとんど不要である。ただし、ばっ気処理水をトレンチに移送する際使用するポンプのホースを洗浄する場合、10～20L/月の洗浄水が必要である。

また本装置は、加温、ばっ気のために20～30kWh／日の消費電力量を必要とするため、その確保が必要である。

②搬送手段

本装置の設置に必要な主な搬送機材は、ばっ気槽、トレンチの敷設に必要な散水管、接触材等である。これらは道路が整備されている山小屋では車での搬送が可能であるが、道路が未整備の場合はヘリコプターによる輸送が必要である。調査対象となった装置と同一方式の処理装置に関し、これまでの5m³のばっ気槽２基を標高2,500mの山小屋に搬送し敷設した実績がある。

6-2　設計、運転・維持管理に関する留意点

①設計

本装置の設計に関しては、営業期間中に排出されるし尿を1回/月の処理頻度で、全て処理できる容量を有するばっ気槽及びここから排出される処理水を2m²/50Lの割合で土壌浸透させるためのトレンチ設置面積の確保等に関する配慮が必要である。

②運転・維持管理

本装置のばっ気処理に当たっては汚泥返送等の特別な作業は必要なく、し尿投入後ブロワ、ヒーター及び消泡剤添加ポンプに通電するだけでよいが、これらが正常に稼動しているか時々確認する必要がある。具体的にはブロワオイル量、V-ベルト劣化、消泡剤添加量チェック等である。

またばっ気処理水及び浸透水の水質を時々把握し、正常に稼動しているか確認する必要がある。

7　課題と期待

１）本装置は、第一工程のばっ気処理においてBODが95%除去できるが、ばっ気処理水のSS平均値は約2,000mg/Lと比較的高く、これはそのままトレンチに移送される。トレンチへ移送されるSSが更に減少すれば、環境への負荷はより削減されるため、その対策も検討課題の一つと考えられる。

２）ばっ気槽から周辺土壌への熱の散逸が比較的多いと考えられるため、その保温対策が必要である。

３）浸透水の BOD、TOC、TN、TP 及び Cl^- の平均値は、それぞれ 1.9、24、23、1.7 及び 72mg/L であった。浸透水に含まれる TN の内 NO_2-N 及び NO_3-N は地

下水の環境基準にも定められているため、その除去対策について検討が必要である。

4）本装置は便槽に貯まったし尿を処理槽に移送しそこで処理するため、現在使用中のトイレブースを改装することなく、し尿処理を行うことができる。そのため、トイレブース全体を改装する方式と比べると、比較的安価に設置可能と考えられる。

5）本装置は、山岳地域対応の新しいタイプのし尿処理装置として位置づけられる。本装置をし尿が未処理のまま排出されている地域に設置した場合、山岳環境への少なくない汚濁負荷削減効果が期待できる。そのため、普及に必要な課題について、現実的且つ合理的に多面的な検討を進める必要があると考えられる。

参考文献

1）環境科学研究会（1980）山岳観光地における環境浄化対策調査報告書。
2）長野県衛生公害研究所（1981）登山に起因する日本アルプスの環境汚染。
3）環境科学研究会（1981）山岳観光地における環境浄化対策研究会調査報告書。
4）南安曇郡山岳観光地におけるし尿処理対策小委員会（1988）山岳観光地におけるし尿処理の将来対策についての中間報告。
5）長野県山岳総合センタ-（1989）調査・研究、北アルプスの水場の調査・中間報告、長野県山岳総合センタ-所報第43号。
6）（財）日本環境整備教育センタ-（1990）中部山岳国立公園山岳高冷地におけるし尿処理対策検討調査報告書。
7）長野県山岳総合センタ-（1990）調査・研究、北アルプスの水場の調査・中間報告、長野県山岳総合センタ-所報第44号。
8）降簱敦海、鈴木富雄、井上吉治、太田宗康、河原純一（1990）山小屋のし尿処理に関するアンケート調査、長野県衛生公害研究所調査研究報告、13、13-22.
9）鈴木富雄，松井優實，小沢秀明，矢島弘志，降簱敦海，桜井善雄（1990）嫌気ろ床-トレンチ方式による山岳地域のし尿処理，長野県衛生公害研究所報告，13，36-40.
10）（財）日本環境整備教育センタ-（1991）中部山岳国立公園山岳高冷地におけるし尿処理対策検討調査報告書。
11）林　弘道、鈴木富雄、松井優実、野村幸弘、矢島弘志、小沢秀明、降簱敦海（1991）3種の薬品によるし尿の消毒効果について、長野県衛生公害研究所調査研究報告、14、34-37.
12）長野県生活環境部（1994）山岳地域におけるし尿等の適正処理に関する調査研究報告書。
13）鈴木富雄，河野行雄，横川利則（1997）無希釈し尿の好気及び嫌気処理に伴う汚濁成分の除去効果の比較，長野県衛生公害研究所研究報告，20，26-29.
14）鈴木富雄，河野行雄，横川利則（1997）微生物製剤を利用したし尿の接触酸化処理，長野県衛生公害研究所研究報告，20，17-20.
15）鈴木富雄，河野行雄，横川利則（1997），微生物製剤を利用したし尿の嫌気処理，長野県衛生公害研究所研究報告，20，30-36.
16）鈴木富雄、松井優實，中山　隆，山岸智子，丸山正人，国安克彦（1999）ろ過，接触酸化及び土壌浸透処理を組み合わせた山岳地域のし尿処理，水環境 学会誌，22，46-53.
17）長野県（1999）山岳地域におけるし尿等の適正処理に関する調査研究報告書（第 2 次報告）。

18)鈴木富雄(2003)SAT法による山岳地域のし尿処理と土壌を用いた脱窒素処理, 信州大学山岳科学研究所年報, Vol.1, 46-47.
19)信州山岳環境保全のあり方研究会（2002）信州山岳環境保全のありかた研究会第１次報告、p13。
20）環境庁自然保護局（1981）梓川源流部の排汚水による汚染の実態と対策調査報告書。
21）松尾友矩他訳（1993）水質環境工学、ｐ62、技報堂出版。
22）松尾友矩他訳（1993）水質環境工学、ｐ513、技報堂出版。
23）松尾友矩他訳（1993）水質環境工学、ｐ325、技報堂出版。
24）森田　昭（1991）有機成分の高度処理、水質汚濁研究、14、782-786。
25）（長野県）し尿浄化槽放流水地下浸透処理研究委員会（1988）し尿浄化槽放流水の地下浸透に関する指導基準。
26）鈴木富雄、山浦源太郎、樋口澄男（1983）トレンチ方式による旅館排水の地下浸透とその土壌への影響、水質汚濁研究、6、343-352。
27）鈴木富雄、樋口澄男、山浦源太郎（1985）トレンチ方式によるし尿浄化槽放流水の地下浸透とその土壌への影響、水質汚濁研究、8、587-594。
28）国松孝男（1985）土壌による排水処理の実際と展望、公害と対策、21、1357-1381。